

Dossier 1

Antrópica

[illegible]

Antrópica. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades

Año 4, vol. 4, núm. 8 julio-diciembre 2018

Dossier 1: Gestión de información sobre riesgo ante desastres hidrometeorológicos en México

Editores invitados

Oscar Frausto Martinez y Ana Cecilia Travieso



Antrópica. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades es una revista científica de ciencias sociales y humanidades en formato digital, semestral, fundada por estudiantes y profesores de la Facultad de Ciencias Antropológicas de la Universidad Autónoma de Yucatán. El primer número apareció en 2015.

La publicación está dirigida a toda la comunidad científica y académica: estudiantes, profesores docentes, investigadoras e investigadores de los campos de la Antropología, Arqueología, Ciencias Políticas, Comunicación Social, Derecho, Economía, Filosofía, Historia, Literatura, Psicología y Sociología. La revista recibirá colaboraciones originales e inéditas, escritas en idioma español y que no estén siendo postuladas de forma simultánea en otras publicaciones, revistas u órganos editoriales.

Antrópica. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, en afán de fomentar el intercambio global del conocimiento y las ideas, permite el acceso a sus contenidos (tanto de texto como visuales) sea para descargar, leer, copiar, imprimir y consultar. En caso de emplearse o reproducirse de forma total o parcial algún contenido, es obligatorio citar su procedencia y respetar los derechos de autor.

Antrópica. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades es una publicación gratuita y no cobra cuotas por la publicación de sus artículos.

Es una publicación arbitrada, dictaminada por pares ciegos e indexada. Integra el índice Latindex

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Facultad de Ciencias Antropológicas de la Universidad Autónoma de Yucatán.

ISSN: 2448-5241

Sitio web: www.antropica.com.mx

Email: revista.antropica@gmail.com

Información legal

ANTRÓPICA. REVISTA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES, año 4, Vol. 4, núm. 8, julio-diciembre 2018, Dossier 1: Gestión de información sobre riesgo ante desastres hidrometeorológicos en México es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Yucatán, México a través de la Facultad de Ciencias Antropológicas. Km. 1 Carretera Mérida-Tizimín, Cholul, C.P. 97305, Apartado Postal 1405, Correo Centro, Mérida, Yucatán. Tel.: +52 (999) 930 0090 Ext. 2118 <http://www.antropologia.uady.mx/revista/antropica/antropica.php>. Editores responsables: Gabriel Angelotti Pasteur. Número de reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2015- 062412561400-203, ISSN 2448-5241, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización, Rodrigo Vences Nava. Facultad de Ciencias Antropológicas., Km. 1 Carretera Mérida- Tizimín, Cholul, C.P. 97305. Fecha de última modificación, 07 de diciembre de 2018.

Transparencia

Los materiales e insumos necesarios para el proceso de trabajo y publicación (fotocopias, impresiones y papeles) y los mobiliarios (escritorio, teléfono, conexión a internet) son provistos por la UADY y la Facultad de Ciencias Antropológicas. Mientras que los electrónicos (computadoras, escáner, impresora, grabadoras digitales, proyector digital, cámaras de videograbación, cámaras fotográficas, tripies y otros accesorios) fueron adquiridos en proyectos financiados por PRODEP (Secretaría de Educación Pública) y CONACYT, en convocatorias distintas; estando todos ellos inventariados y resguardados por la UADY.

Además, la UADY brinda apoyo legal (mediante el departamento jurídico) y se responsabiliza por el pago para la renovación del nombre de la publicación ante INDEAUTOR. Mientras que la Facultad de Ciencias Antropológicas respalda técnicamente (mediante el departamento de computación) y aporta para el pago de la página web. Cualquier otro gasto adicional que pueda presentarse, en particular relacionados con la promoción y difusión de la publicación, pueden ser solventados por los integrantes del equipo técnico o el Director de la publicación.

Lo señalado resulta suficiente para que podamos publicar dos números anuales en el formato digital. Es importante señalar que **Antrópica. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades** no posee cuenta bancaria ni está interesada en recibir financiamiento externo o apoyo económico de empresas, fundaciones, gobiernos o particulares.



Ilustración de la portada

La obra de la portada se titula “Muestra médica” (óleo sobre tela), Mención Honorífica del Premio Henri Matisse 2010 y pertenece al artista plástico Fidel Fernández (Paraguay). La mayor parte de sus obras son narraciones de hechos cotidianos con un contenido social-político. Estas situaciones están plasmadas en forma alegórica, simbólica y satírica. Su obra se puede encontrar en la siguiente dirección:

http://www.portalguarani.com/1956_fidel_fernandez.html

Ilustraciones de interior

Descargado de <https://archive.org/details/mobot31753000817897>

This book is available with additional data at Biodiversity Heritage Library.

DIRECTORIO

Universidad Autónoma de Yucatán

Dr. José de Jesús Williams

Rector

Facultad de Ciencias Antropológicas

Dra. Celia Rosado Avilés

Directora

Gabriel Angelotti Pasteur (UADY)

Dirección editorial

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Margarita Rosales González

Centro Yucatán del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Mérida, INAH. Yucatán.

Dr. Oscar Frausto Martínez

Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo

Dra. Paola Peniche Moreno

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
Unidad Peninsular, CIESAS. Mérida, Yucatán.

Dr. Jesús Lizama

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
Unidad Peninsular, CIESAS. Mérida, Yucatán.

Dra. Inés Cortéz Campos

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
Unidad Peninsular, CIESAS. Mérida, Yucatán.

COMITÉ ASESOR

Dr. Marco Calderón Mólgora

El Colegio de Michoacán, Zamora, Michoacán

Dr. Bradley S. Epps

Universidad de Cambridge, Reino Unido

Dr. David de Ángel García

Centro Peninsular en Humanidades y Ciencias Sociales,
Universidad Nacional Autónoma de México, Mérida, Yuc.

Dra. Nahayeilli Juárez Huet

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología
Social- Unidad Peninsular, Mérida, Yuc.

Dra. Ella Fanny Quintal Avilés

Centro Yucatán del Instituto Nacional de Antropología e Historia,
Mérida, Yuc.

Dr. Enrique Rodríguez Balam

Centro Peninsular en Humanidades y Ciencias Sociales,
Universidad Nacional Autónoma de México, Mérida, Yuc.

Dr. Jesús Solís Cruz

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Dr. Joel Francis Audefroy

Instituto Politécnico Nacional. México.

Dr. Raymundo Padilla Lozoya

Universidad de Colima, Facultad de Letras y Comunicación,
Licenciatura en Periodismo. Colima.

Equipo editorial/equipo técnico

Está formado por los siguientes equipos: a) corrección de estilo, b) traducción, c) diseño y diagramación y d) difusión y comunicación.

Estos equipos están integrados por alumnos y profesores de las Facultad de Ciencias Antropológicas de la Universidad Autónoma de Yucatán (México) quienes participan de modo libre y voluntario (sin recibir remuneración alguna y en tiempo extra a sus tareas y obligaciones institucionales). Todos los integrantes reciben una constancia de participación por cada número publicado. Entre los integrantes contamos con una becaria y alumnos que están realizando su servicio social.

Corrección de estilo

Gonzalo Rosado García (coordinador) (UADY),
Katia Novelo (Servicio social, UADY)
Estefanía Cardaña (Servicio social, UADY)
Emmanuel Alejandro Febles Meza (UADY)

Traducción

Paulina Alvidrez Fornes (Coordinadora, UADY)
Viridiana Guadalupe Pavón Arriaga (UADY)
Beatriz Vázquez Sanchez (UADY)

Diseño y diagramación

Aurora Euan Couoh (Becaria, UADY)

Difusión y comunicación

Mtro. Roberto Ferráez (UADY)

LISTA DE DICTAMINADORES (INTEGRANTES DE LA REDESCLIM)

Dr. Carlos Figueroa Beltrán

Universidad Autónoma de Baja California

Dra. Eleonora Romero Vadillo

Universidad Autónoma de Baja California Sur

Dr. Jenaro Nosedal Sánchez

Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. José Francisco León Cruz

Instituto Potosino de Investigación Científica y tecnológica A. C.

Dr. Juan Cervantes Pérez

Universidad Veracruzana

Dr. Juan Manuel Rodríguez Estévez

El Colegio de la Frontera Norte

Dr. Julio Cesar Morales Hernández

Centro Universitario de la Costa – Universidad de Guadalajara

Dra. Laura Elena Ruíz Meza

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Dr. Marcelino García Benítez

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Dra. Mercedes Andrade Velázquez

Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C.

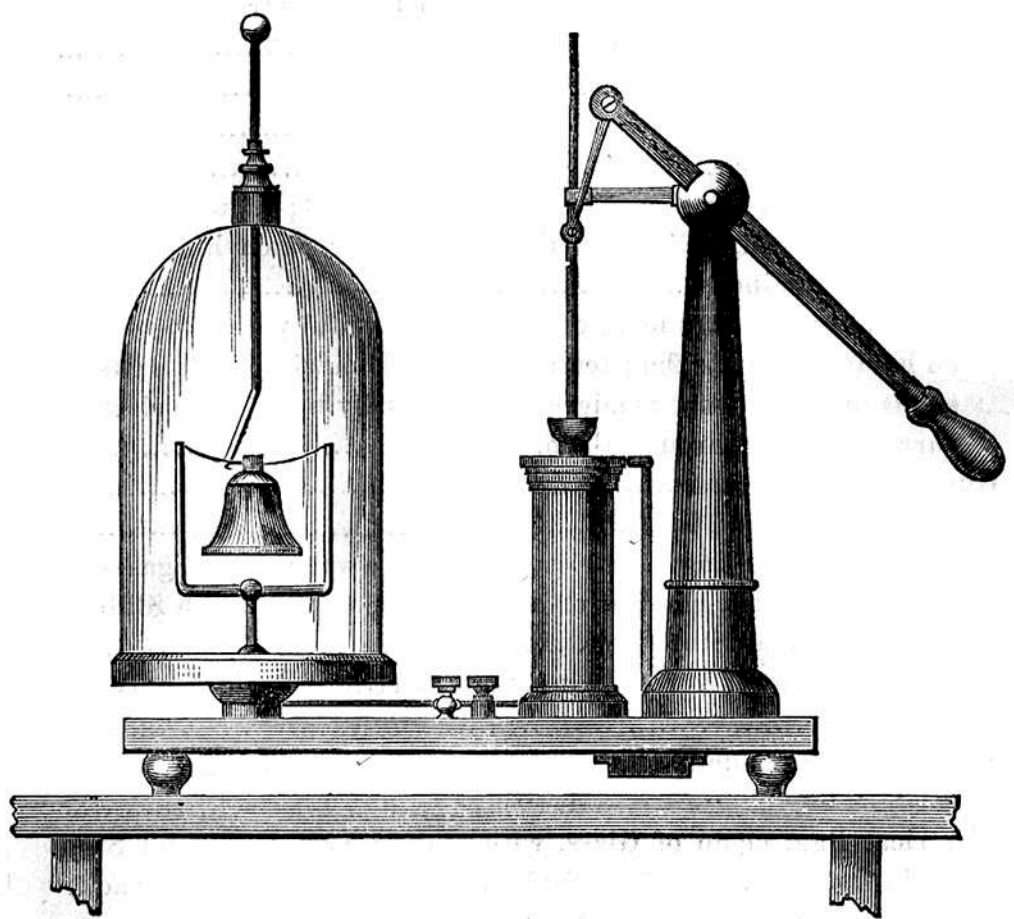
Dr. Miguel Ángel Ahumada Sempoal

Universidad del Mar

Dr. Salvador Adame Martínez

Universidad del estado de México

Índice e Introducción



1090,



Índice

Antrópica. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades
Año 4, Vol. 4, núm. 8, julio-diciembre 2018

**Dossier 1: Gestión de información sobre riesgo ante
desastres hidrometeorológicos en México**

Artículos Académicos

**Percepción de riesgos hidrometeorológicos en personas interesadas en los
objetivos de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible** 201-214

*Perception of hydrometeorological risks in people interested in the objectives of the 2030
agenda for sustainable development*

por Christian Domínguez Sarmiento, Palmira Cuéllar Ramirez, Carlos Welsh
Rodríguez y Carolina Ochoa Martínez

Perfil de resiliencia urbana de la isla de Cozumel, México 215-237

Urban resilience profile of Cozumel Island, Mexico

por Oscar Frausto Martínez, Javier Tun Chim, Orlando Colín Olivares, Aidé
Vázquez Sosa, Rosa Dzul Pech, Rosalinda Isla Garcia, María Luisa Hernández
Aguilar, Milagros Campos Vargas, Lucinda Arroyo Arcos, Gerardo Palacio
Aponte

**Investigación de las relaciones entre variabilidad climática y enfermedades
transmitidas por vector en el Estado de Veracruz** 239-258

*Investigation of the relationships between climatic variability and vector-borne diseases
in the State of Veracruz*

por Sayli Sagrario Ybañez Hernández, Jorge Luis Vázquez Aguirre y Oscar
Sánchez Martínez

**Análisis exploratorio espacial del índice de vulnerabilidad socioeconómica en el
municipio de Naucalpan Estado de México** 259-272

*Exploratory spatial analysis of the socioeconomic vulnerability index in the municipality of
Naucalpan, State of Mexico*

por María Milagros Campos Vargas, Luis Quintana Romero, José Francisco
Monroy Gaytán y Oscar Frausto Martínez

**Resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones: caso de estudio
Chetumal, Quintana Roo, México** 273-300

Resilience of drain system facing floods: a case study in Chetumal, Quintana Roo, México

por Anita Martínez Méndez, Ana Cecilia Travieso Bello y Oscar Frausto Martínez



Presentación

Presentation

Oscar Frausto Martínez

Universidad de Quintana Roo

Ana Cecilia Travieso Bello

Universidad Veracruzana

La gestión de información sobre riesgos ante desastres hidrometeorológicos en México constituye un reto significativo, puesto que exige reunir sistemas básicos de monitoreo y control de información que permitan tomar decisiones a los gestores del riesgo para diversas escalas temporales y espaciales. El monitoreo sirve para diseñar procedimientos rigurosos de generación de información sobre las causas y efectos de los desastres, centrado en la definición conceptual, los factores que los propician, las variables para su estimación y valoración, siendo la generación y análisis de datos (cuantitativos y cualitativos) una tarea fundamental. El control de información nos permite validar los resultados de los modelos que se han diseñado para el análisis de los riesgos, su significancia, el uso de la información y las decisiones informadas.

El presente Dossier “Gestión de información sobre riesgos ante desastres hidrometeorológicos en México”, reúne el esfuerzo de 17 investigadores que elaboraron cinco artículos, los cuales representan una muestra del trabajo colaborativo de la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim)¹ del Consejo Nacional de Ciencia y Técnica de México (CONACyT). De este modo, comprobamos que los esfuerzos editoriales para la divulgación del saber científico dan por resultado la generación de conocimientos en contextos cada vez más competitivos de recursos, trabajo en equipo y calidad académica. Los editores invitados de este Dossier, agradecemos al Dr. Gabriel Angelotti Pasteur por ceder el número 8 - Revista Antrópica de la Universidad Autónoma de Yucatán; a los más de 30 miembros participantes de la REDESClim por su compromiso al trabajo colaborativo y tener a tiempo los artículos y los dictámenes; al CTA de la REDESClim por respaldar la idea del Dossier y al CONACYT por fomentar las reuniones académicas anuales.

Contacto:

Dr. Oscar Frausto Martínez <fraustomartinezoscar@gmail.com>

¹ Cuyo sitio web es el siguiente: <http://www.redesclim.org.mx/>

Artículos de Investigación

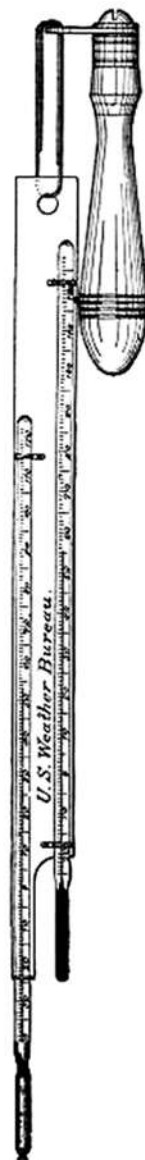


FIGURE 11. Sling-psychrometer.

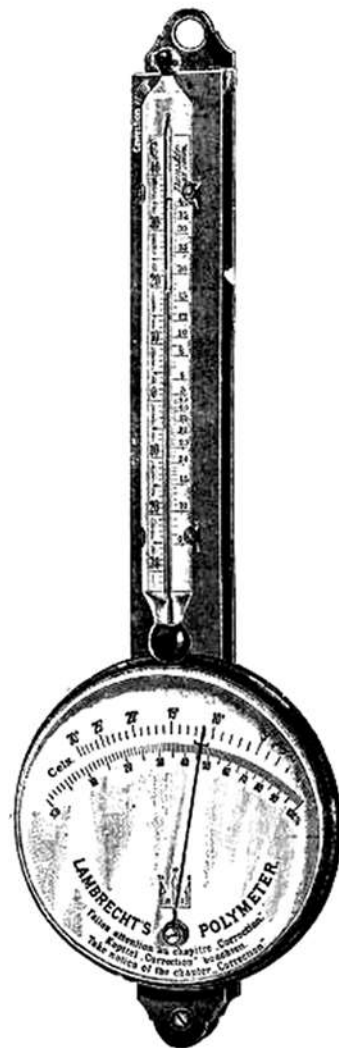


FIGURE 12. Lambrecht's Hygrometer.



Percepción de riesgos hidrometeorológicos en personas interesadas en los objetivos de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible

Perception of hydrometeorological risks in people interested in the objectives of the 2030 agenda for sustainable development

Christian Domínguez Sarmiento - Palmira Cuéllar Ramirez - Carlos Welsh Rodríguez - Carolina Ochoa Martínez

UNAM

UNAM

Universidad Veracruzana

Universidad Veracruzana

Recibido: 14 de mayo de 2018.

Aprobado: 10 de julio de 2018.

Resumen

Los fenómenos hidrometeorológicos aún causan muertes en México, a pesar que la población está continuamente informada acerca de su impacto. Por ello, es necesario conocer la percepción que la sociedad tiene sobre los riesgos de origen hidrometeorológico. Este estudio se basa en analizar la percepción de riesgo de cuarenta personas que estuvieron interesadas en los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030, con la finalidad de medir su valoración sobre tres ejes principales: 1) pronóstico meteorológico, 2) cambio climático y 3) eventos meteorológicos. Los resultados indican que el pronóstico meteorológico no es de suma importancia para esta población, pues 62% de ella no lo consulta antes de salir de su casa. Sin embargo, 81% sigue las recomendaciones emitidas por Protección Civil ante eventos meteorológicos. Por otro lado, 90% de la población está preocupada por los impactos que el cambio climático podría tener sobre su localidad. A partir de esta encuesta, se concluye que los esfuerzos gubernamentales y civiles deben estar dirigidos en alfabetizar a la población para que sepa usar la información climática emitida por instituciones oficiales. Así, los individuos serán capaces de tomar decisiones informadas y responsables con respecto a un evento meteorológico de alto impacto.

Palabras clave: fenómenos hidrometeorológicos, percepción del riesgo, alfabetización, uso de información climática, agenda 2030.

Abstract

Hydrometeorological phenomena still cause deaths in Mexico, despite the fact that the population is continuously informed about its impact. Therefore, it is necessary to know the perception that society has about the risks of hydrometeorological origin. This study is based on analyzing the risk perception of forty people who were interested in the sustainable development objectives of the 2030 agenda in order to measure their assessment on three main axes: 1) weather forecast, 2) climate change and 3) meteorological events. The results indicate that the weather forecast is not very important for this population, since 62% of the population does not consult it before leaving their home. However, 81% follow the recommendations issued by Civil Protection before meteorological events. On the other hand, 90% of the population is concerned about the impacts that climate change could have on their locality. Based on this survey, it is concluded that governmental and civilian efforts should be directed to educate the population so that they know how to use climate information issued by official institutions. Thus, individuals will be able to make informed and responsible decisions regarding a high impact weather event.

Key words: Hydrometeorological phenomena, risk perception, literacy, use of climate information, 2030 agenda.

Introducción

El riesgo, por definición, se expresa en términos de peligro y vulnerabilidad. Un peligro meteorológico se presenta cuando existe una probabilidad de que la lluvia o la temperatura sean extremadamente intensas y esto afecte a un sector vulnerable (Mansilla, 2000). Por ejemplo, podrían existir temperaturas muy frías que llegaran a magnitudes tan pequeñas que podrían representar un peligro para la población. Por su parte, la vulnerabilidad es la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños en caso de que un fenómeno desestabilizador de origen natural se manifieste (Mansilla, 2000). El peligro y la vulnerabilidad son dependientes: la ausencia de un peligro no implica que la población no es vulnerable a algo. Sin el peligro no existiría la vulnerabilidad y como consecuencia, no habría ningún riesgo. Así, la definición de riesgo asociado con el paso de un fenómeno hidrometeorológico es el producto de la existencia de un peligro meteorológico al que se está expuesto y la vulnerabilidad de la población. También, el riesgo se define comúnmente como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas, sociales, políticas y ambientales en cierto sitio y periodo. La meta de calcular el riesgo es establecer planes de acción para prevenir la ocurrencia de un desastre y/o minimizar sus consecuencias. Sin embargo, los desastres surgen de la incapacidad de la sociedad para ejecutar estrategias de afrontamiento ante los fenómenos naturales (en este caso, fenómenos hidrometeorológicos), provocando pérdidas económicas, humanas y sociales (Mansilla, 2000).

México es afectado anualmente por fenómenos hidrometeorológicos de mesoescala, tropicales e invernales. Los fenómenos de mesoescala se encuentran confinados a una escala espacial menor a 20 kilómetros y se pueden presentar en cualquier época del año. Estos fenómenos suelen durar desde minutos hasta un par de horas, por ejemplo: las tormentas convectivas y las granizadas. Los fenómenos tropicales se presentan desde mayo hasta noviembre, se originan en los trópicos (5°N-25°N), y entre ellos se encuentran los ciclones tropicales, las ondas del este y las ondas de calor. Sin embargo, los ciclones tropicales destacan por su carácter destructivo.

Los ciclones tropicales son sistemas atmosféricos que tienen una circulación cerrada y cuya escala Saffir-Simpson los agrupa –dependiendo de la intensidad de sus vientos superficiales–: en depresión tropical, tormenta tropical y huracán categoría del 1 al 5 (NHC, 2018). Las depresiones tropicales tienden a ser subestimadas en comparación con los huracanes intensos (categoría igual o mayor a 3), ya que se tiene la idea errónea de que sus vientos en superficie no son lo suficientemente fuertes para causar destrozos. Sin embargo, podrían causar un daño mayor al que causaría un huracán categoría 2 debido a una velocidad de traslación lenta y una interacción con un frente frío, lo que conduciría a producir lluvias extremas. Así, la intensidad de un ciclón tropical no está relacionada con la cantidad de lluvia que produce. Los mayores daños causados por los ciclones tropicales están más relacionados con la cantidad de precipitación acumulada que con la intensidad del viento (Domínguez, 2012). Sin embargo, los ciclones tropicales son también sistemas atmosféricos que transportan grandes cantidades de agua y permiten la recarga de ríos, mantos acuíferos y presas. Por lo que, la lluvia asociada a su paso, sin importar su categoría, podría ayudar en el abasto de agua a una región que se encuentre en condiciones de sequía (Domínguez, 2018).



Los fenómenos invernales se presentan desde septiembre hasta abril y se originan en los extratropicales (35°N - 90°N). Las tormentas invernales, los frentes fríos y las heladas son los sistemas invernales más destacados.

Cabe mencionar que la clasificación anterior (tropical e invernal) no está relacionada con el inicio de las estaciones astronómicas (primavera, verano, otoño e invierno), sino con su origen latitudinal. Algunos de estos fenómenos pueden interactuar al mismo tiempo y producir lluvias o temperaturas extremas sobre el país, cuya población ha mostrado ser vulnerable a su impacto (Magaña, 2004).

El conocimiento científico de los procesos físicos que ocurren en la atmósfera permite que, mediante el uso de ecuaciones matemáticas y las observaciones diarias, se pueda predecir el estado futuro de la atmósfera. Los pronósticos son el resultado del uso de estas ecuaciones y su objetivo es predecir el comportamiento global de los fenómenos hidrometeorológicos en un determinado plazo de tiempo (Lorenz, 1975). Los pronósticos meteorológicos predicen lo que pasará en cuestión de días (hasta 7 días) y los pronósticos climáticos tratan de predecir el comportamiento atmosférico en un plazo de hasta 2 meses de antelación (Palmer, 2006). Ambos tipos de pronósticos ofrecen información útil sobre las medidas que se podrían tomar con anticipación ante la eventualidad de algún fenómeno hidrometeorológico extremo. Sin embargo, la frecuencia de su uso y la confianza que la población tiene en ellos aún permanecen inciertas para las instituciones nacionales que los elaboran.

Palmer (2006) define al cambio climático como una de las peores amenazas que ha enfrentado la humanidad. Por ello, ha sido un tema mundialmente popular y diversamente publicitado en varios ámbitos. Como consecuencia, ha sido abordado desde distintos enfoques. Lo interesante es que este tópico ha hecho que la población se familiarice con los objetos de estudio de la meteorología y la climatología. Sin embargo, algunas veces ha ocasionado que las variaciones horarias de la temperatura y precipitación en un día determinado se asocien erróneamente con los efectos del cambio climático. Está claro que si no cuidamos el ambiente, habrá consecuencias catastróficas para la sociedad. El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) en su quinto reporte (AR5) aseguró que, en condiciones de un clima cambiante, los fenómenos hidrometeorológicos podrían incrementar su frecuencia e intensidad. Esto no significa que todas las partes del planeta se calienten, ya que algunas podrían sufrir nevadas más continuas o una mayor frecuencia de temperaturas gélidas (IPCC, 2014). Ante esto, las personas encargadas de la toma de decisiones, y la población en general deben estar conscientes de las acciones individuales y colectivas que se podrían llevar a cabo para contrarrestar los posibles cambios futuros en la frecuencia e intensidad de los fenómenos atmosféricos extremos.

Históricamente, los fenómenos hidrometeorológicos han representado las mayores pérdidas económicas en México. Por ejemplo, los desastres asociados al paso de estos fenómenos causaron más del 60% de las pérdidas económicas del país durante el 2016 (CENAPRED, 2016). Además, también causan un número alarmante de defunciones: los fenómenos hidrometeorológicos (lluvias intensas, tormentas severas y temperaturas extremas) provocaron el deceso de 135



personas, el cual es un número mayor comparado con las 92 defunciones propiciadas por fenómenos geológicos y químicos durante el 2016 (CENAPRED, 2016). Aunque este tipo de fenómenos pasaron a un segundo lugar debido a los fuertes sismos que ocurrieron durante el año 2017 (CENAPRED, 2017), su importancia radica en que ocurren cada año y durante un periodo prolongado, a diferencia de los terremotos.

Las instituciones gubernamentales encargadas de mantener informada a la población sobre la existencia de un peligro meteorológico son Protección Civil y el Servicio Meteorológico Nacional. Estas instituciones utilizan mensajes de texto, coberturas nacionales en medios de comunicación y el contacto directo con la población que se encuentra en regiones que podrían ser afectadas. Sin embargo, resulta contrastante que aún existan decesos, si los esfuerzos por transmitir la información del impacto son constantes y han crecido con el paso de las décadas. También, es interesante mencionar que aunque los fenómenos hidrometeorológicos son recurrentes en México, pareciera que no se cuenta con una cultura fuerte de prevención, puesto que, es claro que con una mayor actividad de fenómenos hidrometeorológicos extremos, como los ciclones tropicales, existen grandes pérdidas económicas. Así, durante los años 2005, 2007, 2010, 2011 y 2013 las pérdidas económicas ascendieron a más de 40,000 millones de pesos, porque hubo por lo menos dos ciclones tropicales que impactaron el país, ya sea en el Océano Atlántico o en el Océano Pacífico (CENAPRED, 2016).

Lo anterior denota que México debería contar con un esquema más efectivo para la gestión integral de riesgos de origen hidrometeorológico, aunque el camino aún es largo. Cada impacto que produjeron los fenómenos hidrometeorológicos debió haber dejado una enseñanza a los tomadores de decisiones en México sobre cómo manejarlos y cómo volver a las comunidades cada vez más resilientes. No obstante, la mayoría de las acciones en el país son reactivas, es decir, acciones que se ejecutan una vez que el fenómeno hidrometeorológico ya afectó al país, y estas tienen, por lo general, un costo más elevado que las acciones preventivas, acciones que se ejecutan con un tiempo de anticipación al impacto del fenómeno hidrometeorológico (CENAPRED, 2016).

El problema de una mala ejecución en prevención de desastres tiene un componente físico que trata sobre el entendimiento del fenómeno hidrometeorológico, pero también tiene un componente social que trata sobre cómo los tomadores de decisiones y los actores sociales entienden el peligro para ejecutar las estrategias de afrontamiento.

Aunado a una mala ejecución de la prevención de desastres, existe otro elemento que influye en la existencia de los desastres. El manejo de los recursos del FONDEN (Fondo Nacional para los Desastres) ha sido opaco y existe una falta de rendición de cuentas en cuanto al destino de ese dinero. Los funcionarios públicos en todos los niveles gubernamentales han visto en cada desastre una oportunidad para desviar fondos para su uso personal (PROCESO, 2018). Lamentablemente, este tipo de acciones no han sido penalizadas, pues no se ha exigido un proceso transparente en la asignación de los recursos del FONDEN. Sin lugar a dudas, este tipo de actos exacerban las situaciones de desastre. Además, este tipo de funcionarios corruptos suelen recurrir al paradigma naturalista para señalar a la naturaleza como la principal responsable de las desgracias humanas y los desastres.



De acuerdo con lo anteriormente expuesto, surge la pregunta sobre qué perciben y entienden las personas cuando se habla de riesgos de origen hidrometeorológico, porque la población, sin importar su clase socioeconómica y cultural, son los usuarios de los productos que elaboran el Servicio Meteorológico Nacional y Protección Civil. La función principal de estos productos es realizar un alertamiento oportuno a los habitantes de un municipio o estado. Actualmente, existen sistemas de alerta temprana (SIAT: Sistema de Alerta Temprana) para sismos, incendios, tsunamis, erupciones volcánicas, ciclones tropicales, sequías y lluvias intensas. El objetivo primordial de los SIATs es salvar vidas humanas. Sin embargo, el éxito de un SIAT no solo depende de la parte gubernamental. También, la comunicación, la difusión del impacto del fenómeno y la respuesta de la población tienen un papel importante, ya que representan los sectores principales de los cuales depende la eficacia de la ejecución de un SIAT (CENAPRED, 2018). Por ello, es fundamental cuantificar la percepción de los riesgos de origen hidrometeorológico que tienen las personas.

La percepción de riesgos se define como el conjunto de conocimientos, valores, creencias, juicios y actitudes que las personas emiten hacia un suceso o fenómeno determinado y está basada en la experiencia, lo que enriquece el análisis de los expertos (Almaguer, 2009). El objetivo final de analizar la percepción de las personas debe ser mejorar su educación y capacitación sobre el riesgo y la prevención, porque se pueden detectar los conceptos erróneos que la población tiene con base en el análisis de la opinión pública (Ferradas, 2008).

El organismo no gubernamental (ONG) MY World México es una asociación de voluntariado que colabora con la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Del 4 al 6 de octubre del 2017 organizaron el primer foro “México en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible: Voces de la gente”, al cual asistieron alrededor de 100 personas provenientes de diferentes estados, sociedades civiles y con diferentes perfiles académicos. El foro se llevó a cabo en las instalaciones de la Ciudad Universitaria de la UNAM en la Ciudad de México.

La Red Latinoamericana de Ciencias Atmosféricas y Meteorología (RedLAtM) fue invitada a impartir el taller “Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 13: Acción por el clima”. La agenda 2030 para el desarrollo sostenible es un documento firmado por 193 países miembros de la ONU el 25 de septiembre del 2015 y puesta en vigor con carácter no vinculante a partir del 1 de enero del 2016. La agenda está integrada por 17 ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) que comprenden temas ambientales, sociales y económicos (ONU, 2017). Principalmente, el ODS 13 tiene como meta lograr una alfabetización climática, es decir, lograr una comunicación significativa sobre el clima y hacer que las comunidades sean capaces de tomar decisiones informadas y responsables con respecto a los fenómenos hidrometeorológicos (ONU, 2017). La idea no es solo lograr que la población esté lista en la toma de decisiones que hagan sobre los fenómenos hidrometeorológicos que se presenten en un corto plazo de tiempo (días), sino que esté preparada e informada para los fenómenos que se presenten en plazos de tiempo más largos (meses). Así, se planteó la aplicación de una encuesta para medir la percepción del riesgo de origen hidrometeorológico en las cuarenta personas que asistieron al taller del ODS 13 y que provenían de diversos estados.



El evento organizado por MY World México para escuchar las opiniones de los actores sociales acerca de la agenda 2030, representó una buena oportunidad para desarrollar la forma de estimar la percepción de riesgo. El presente trabajo constituye un primer paso en el proyecto que se plantea formular para analizar la percepción de riesgo en personas que no son especialistas en el área de la meteorología y climatología en todo el país. La meta final es investigar si una inadecuada percepción del riesgo es la causa principal de una inapropiada toma de decisiones y consecuentemente, la raíz del número de muertes que ocurren durante el paso de los fenómenos hidrometeorológicos.

Además, realizar este tipo de estudios es vital para el área académica, la elaboración de políticas públicas y para la propuesta de mejoras en la educación. En este sentido, la academia sería beneficiada debido a una contribución en los elementos de análisis de la percepción de riesgos. El diseño de políticas públicas y la propuesta de nuevos planes educativos requieren primeramente la descripción de piezas importantes. Este tipo de estudios podrían determinar la inadecuada percepción de un evento meteorológico debido a la ausencia de conocimiento básico de la población en esa área.

Método

Se realizó una encuesta impresa a las únicas cuarenta personas que asistieron al taller del ODS 13. La encuesta consta de catorce preguntas que están divididas en tres ejes principales: 1) pronóstico meteorológico, 2) cambio climático y 3) eventos meteorológicos. Las respuestas de las preguntas se limitaron a ser “sí” o “no” para expresar un acuerdo o un desacuerdo, según su caso. Así, los porcentajes de cada pregunta fueron calculados con base en la ecuación 1:

$$\%_{\text{respuesta}} = \left[\frac{\text{No.de personas}}{\text{No.total de personas (40)}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Los resultados señalan que 85% de las personas encuestadas tiene entre 18 y 30 años (Fig. 1), lo que indica que son jóvenes que están estudiando la universidad o pertenecen a un grupo social que frecuentemente utiliza las redes sociales para estar comunicado (IMCO, 2016). El grado académico de esta muestra de la población corresponde a estudiantes de licenciatura, activistas y trabajadores de gobierno. Cabe mencionar que, los sesgos de esta encuesta podrían estar asociados al porcentaje mayoritario de jóvenes, y al hecho de que estas personas tienen un interés genuino por estar informadas acerca de lo que es el clima, tiempo meteorológico y cambio climático, ya que asistieron a un evento de una ONG sin fines de lucro.

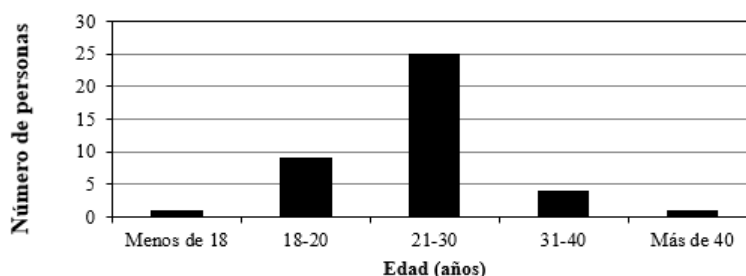


Figura 1. Edad (años) de las personas encuestadas



Es importante mencionar que el número de las personas encuestadas estuvo limitado por:

1. El número de personas que asistieron al evento.
2. La fragmentación de los lugares en los que se realizó el foro.
3. El tiempo disponible para encuestar a las personas.

La elección de las respuestas “sí” y “no” fue en gran medida por el tiempo limitado para encuestar a las personas. En otras palabras, se necesitaba que el tiempo de la aplicación de las encuestas fuera corto, ya que las personas debían desplazarse a un lugar lejano para continuar con las actividades del foro. Esto también restringió el número de personas encuestadas, pues podrían haber sido más si las actividades simultáneas del foro se hubieran realizado en áreas cercanas.

Resultados y discusión

La opinión pública se caracteriza por ser caótica porque las respuestas a las preguntas podrían ser contrastantes. Sin embargo, aún en el caos, las respuestas aportan información acerca de cómo la población piensa o reacciona acerca de un tema. El primer eje consta de seis preguntas, mientras que el segundo eje tiene cinco preguntas. Finalmente, el último eje está constituido por tan solo tres preguntas. Cada pregunta tiene la finalidad de medir qué tanto sabe la población acerca de un tema o cuál es el valor que le otorga a una situación o un fenómeno, según su eje.

a) Eje 1: Pronóstico Meteorológico

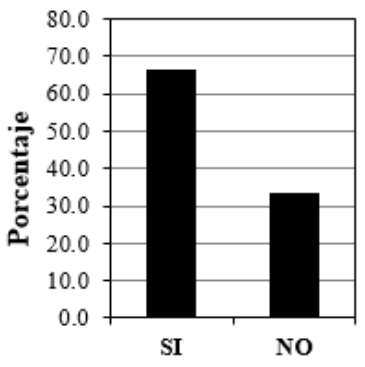
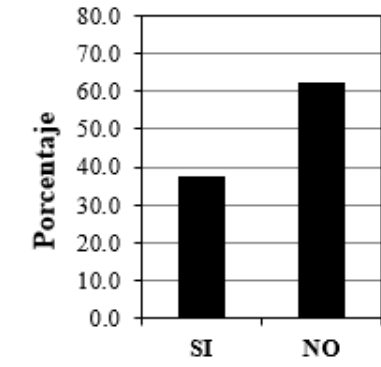
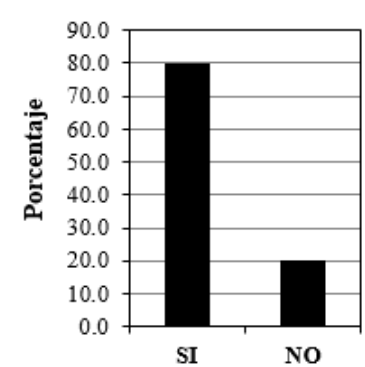
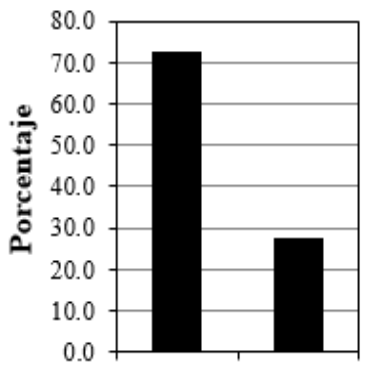
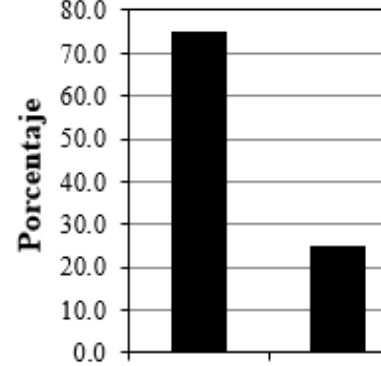
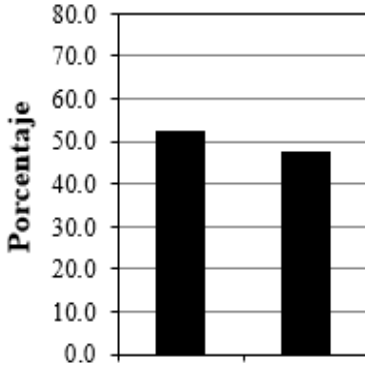
El pronóstico meteorológico es el producto más frecuente que hacen los meteorólogos para las comunidades. Por lo que, su elaboración y consulta debe ser horaria (cada seis horas). La pregunta 1 trata de analizar si los individuos saben diferenciar lo que es tiempo y clima. De acuerdo con los resultados, solo el 31% tiene un concepto adecuado acerca del tiempo meteorológico y clima (Tabla 1). La pregunta 2 indica que el 62% de las personas no checan el pronóstico meteorológico antes de salir de casa (Tabla 1). Sin embargo, el 80% sabe que la información de esos pronósticos es importante para realizar las actividades diarias, de acuerdo con la pregunta 3.

Aunque los resultados de la pregunta 2 y 3 son opuestos, señalan que la población no tiene un interés por permanecer informada constantemente. Además, se puede inferir que no es una costumbre en la población depender de la información meteorológica para planear su vida cotidiana.

Por su parte, el 72% de las personas confía en los pronósticos emitidos por una institución oficial como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Sin embargo, el 75% prefiere checar el pronóstico del tiempo en una aplicación del celular (Tabla 1). El resultado de la pregunta 6 podría estar relacionado con la poca información que las personas tienen sobre el pronóstico del tiempo, ya que ambos porcentajes se encuentran casi al mismo nivel (Tabla 1). Así, aún permanece incierto si un mal pronóstico afecta las actividades de la población.



Tabla 1. Preguntas y respuestas sobre el pronóstico meteorológico

1) Cuando pienso en la palabra “clima”, pienso en los valores diarios de temperatura y precipitación	2) Siempre checo el pronóstico meteorológico antes de salir de casa	3) Pienso que la información meteorológica es importante para realizar mis actividades diarias
		
4) Confío en los pronósticos emitidos por el Servicio Meteorológico Nacional	5) Prefiero checar la aplicación del pronóstico del tiempo instalada en mi celular que revisar la página del Servicio Meteorológico Nacional.	6) En los últimos 3 meses ¿ha sido afectado por un mal pronóstico meteorológico?
		

b) Eje 2: “Cambio Climático”

El tema del cambio climático (CC) ha sido explotado por todas las áreas. Por lo que el conocimiento de su existencia y las campañas de acciones para enfrentarlo han sido constantes desde hace casi 10 años, cuando se inició una concienciación sobre el impacto que tienen los seres humanos en la producción de gases contaminantes que modifican la atmósfera y el clima.



Las respuestas de las preguntas 7,8 y 10 muestran ser contundentes (Tabla 2): el 85% piensa que el clima se está volviendo más caliente, el 91% cree que su hogar ha sido afectado por el CC y el 100% considera que sus acciones individuales pueden ayudar a frenar los efectos del CC.

Sin embargo, la percepción de que está lloviendo más es relativa (pregunta 9), ya que depende de su lugar de residencia (Tabla 2). También, resulta interesante mencionar que casi el 60% de las personas no han tenido ninguna materia relacionada con la meteorología y climatología. Por lo que, parece ser que su interés por aprender acerca de la acción por el clima los ha llevado a crear una preocupación sobre las acciones que deben ejecutar para ayudar a combatir el CC.

Tabla 2. Preguntas y respuestas sobre cambio climático

7) Tengo la percepción de que el clima se está volviendo “más caliente”	8) Pienso que el lugar donde vivo ha sido afectado por el cambio climático	9) Tengo la percepción de que está lloviendo más que en años anteriores
10) Considero que mis acciones individuales pueden ayudar a frenar los efectos del cambio climático	11) Durante mi formación académica (prepa/universidad/posgrado) lleve alguna materia relacionada con meteorología o climatología	



La comparación de los porcentajes del eje del pronóstico meteorológico con los del eje del cambio climático indican que la población está más preocupada por evitar el cambio climático que por enfrentar los fenómenos hidrometeorológicos que acontecen día a día, pues los porcentajes son más dominantes en este eje. Desafortunadamente, esto podría señalar que el pensamiento de esta población radica en el futuro lejano, en lugar de estar en el tiempo más inmediato, preocupándose por informarse sobre los acontecimientos diarios.

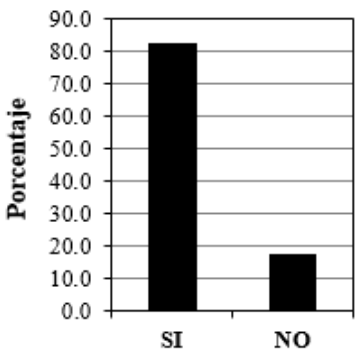
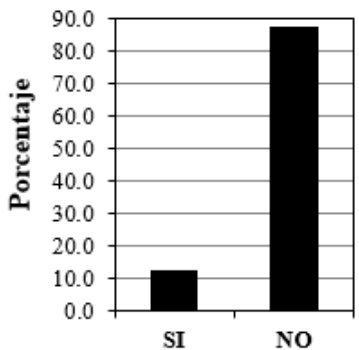
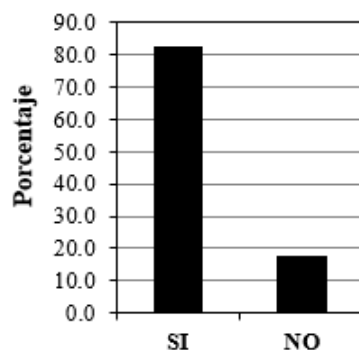
c) Eje 3: “Eventos meteorológicos”

Los huracanes son los eventos hidrometeorológicos más populares en México debido a su alto poder destructivo. Sin embargo, no son los únicos fenómenos extremos que pueden causar inundaciones, deslaves o precipitaciones intensas. Existen los fenómenos de mesoescala, escala local menor a 20 kilómetros, que pueden provocar fuertes impactos sociales.

De acuerdo con la tabla 3, el 81% de las personas reconocen a Protección Civil como un organismo gubernamental importante que emite recomendaciones cuando existe algún peligro meteorológico. Las personas también siguen constantemente las noticias cuando existe la posibilidad de que un huracán impacte México, aunque pareciera que los perciben como eventos que podrían traer consigo consecuencias benéficas para la población y que no causan daños solamente (pregunta 13).

Los resultados señalan que la población tiene una mayor confianza en Protección Civil (81%) que en otras instituciones oficiales, como el Servicio Meteorológico Nacional, el cual obtuvo el 72% de confianza. Sin embargo, este no logra competir contra las aplicaciones del pronóstico del tiempo en los celulares. Por lo que, Protección Civil es más popular en esta población que está constituida mayormente por personas de 18 y 30 años.

Tabla 3. Preguntas y respuestas sobre eventos meteorológicos

12) Sigo plenamente las recomendaciones hechas por Protección Civil cuando existe algún evento meteorológico	13) Tengo la percepción de que los huracanes sólo causan daños materiales y pérdidas humanas	14) Cuando existe un boletín sobre algún huracán que puede impactar México, sigo las noticias para saber sobre su trayectoria
 Bar chart showing the percentage of responses for question 12. The y-axis is labeled 'Porcentaje' and ranges from 0.0 to 90.0. The x-axis has two categories: 'SI' and 'NO'. The 'SI' bar is at 81.0 and the 'NO' bar is at 19.0.	 Bar chart showing the percentage of responses for question 13. The y-axis is labeled 'Porcentaje' and ranges from 0.0 to 90.0. The x-axis has two categories: 'SI' and 'NO'. The 'SI' bar is at 12.0 and the 'NO' bar is at 88.0.	 Bar chart showing the percentage of responses for question 14. The y-axis is labeled 'Porcentaje' and ranges from 0.0 to 90.0. The x-axis has two categories: 'SI' and 'NO'. The 'SI' bar is at 81.0 and the 'NO' bar is at 19.0.



Conclusión

Las cuarenta personas que mostraron un interés por el taller del objetivo de desarrollo sostenible 13: “acción por el clima” de la agenda 2030 fueron encuestadas para estimar su percepción acerca de los riesgos de origen hidrometeorológico. La encuesta constó de 3 ejes: pronóstico meteorológico, cambio climático y eventos hidrometeorológicos.

Los resultados del eje de cambio climático indican que los conocimientos que tiene esta muestra de la población están mejor cimentados en comparación con los temas de pronóstico y eventos hidrometeorológicos, pues además de que los porcentajes de sus opiniones son más claros, las respuestas sobre este tema están acordes con las investigaciones científicas recientes. Por lo que se infiere, es que este tema es de suma preocupación para esta población.

Sin embargo, el tema del pronóstico meteorológico no es claro para las personas, ya que tienen respuestas opuestas. El 62% no checa el pronóstico antes de salir de casa, aunque el 80% sabe que la información de este pronóstico es importante para sus actividades diarias. Por otro lado, el 72% confía en el SMN (Servicio Meteorológico Nacional), pero el 75%, casi el mismo porcentaje, prefiere checar el pronóstico mediante una aplicación en el celular. Finalmente, en términos generales, las personas reconocen a Protección Civil como un organismo gubernamental importante que sirve para resguardar su seguridad y siguen ampliamente sus recomendaciones.

Los resultados de esta encuesta sirvieron para seleccionar las preguntas que se harán en un proyecto futuro que se planea aplicar a nivel nacional. Además, este ejercicio proporcionó ideas acerca de cómo se debe llevar a cabo este proyecto.

El trabajo futuro pretende:

1. Implementar otros cuestionamientos relacionados con la percepción de las actividades medioambientales de la población como agentes de cambio.
2. Sustituir las respuestas “sí o no” por el uso de la escala de Likert. Esta escala tendrá cinco niveles de respuesta: “totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, de acuerdo y totalmente de acuerdo”.
3. Ampliar el número de personas encuestadas a más de 1,000. Lo ideal sería que se tuviera una participación de los treinta y dos estados para obtener una muestra representativa del país. Los medios electrónicos como redes sociales y *whatsapp* representan los medios idóneos para realizar una nueva estimación de la percepción de riesgos.

Esta investigación señala, en cierto sentido, que las actividades de las instituciones oficiales deben estar encaminadas a crear un interés mayor en la población por estar ampliamente informada sobre el pronóstico meteorológico y climático de los fenómenos hidrometeorológicos. Esta meta se podría lograr implementando los temas de la meteorología y climatología desde temprana edad hasta la educación superior, ya que toda la población sin importar su edad experimenta el efecto de los fenómenos atmosféricos extremos.



Los beneficios de tomadores de decisiones y comunidades bien informadas se traducirían en un funcionamiento adecuado de los sistemas de alerta temprana y en una reducción de desastres. Aunque el camino parece largo, este debería ser el primer paso para transitar a una adecuada gestión integral de riesgos. Aun cuando los productos meteorológicos sean sofisticados, requieren que sus usuarios sepan interpretarlos y usarlos para los pronósticos sean considerados útiles.

En conclusión, el camino para crear una cultura de prevención de desastres requiere de mucho esfuerzo. Hacer que la sociedad se alfabetice climáticamente para que pueda tomar decisiones informadas implica que se tiene que promover una educación meteorológica en todos los niveles, lo cual no es únicamente responsabilidad del gobierno. La promoción de una cultura meteorológica debe ser una acción conjunta de los diferentes sectores del gobierno en coordinación con la sociedad civil. Así, la sociedad podrá ser más preventiva y consecuentemente, más resiliente a los fenómenos hidrometeorológicos. 

Agradecimientos especiales

Los autores agradecen a Idalia Ledesma, Martha Llanos, Ana Martínez y Aline Mazapor por su ayuda en la aplicación de las encuestas.



Referencias

- ALMAGUER RIVERÓN CARMEN DELIA (2009). *El riesgo de desastres: una reflexión filosófica*. Tesis de doctorado. Facultad de Filosofía. Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. Recuperado de www.eumed.net/tesis/2009/cdar/
- CENTRO NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN DEL DESASTRE (2016). *Impacto socioeconómico de los desastres en México durante el 2016*. Ciudad de México: CENAPRED.
- CENTRO NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN DEL DESASTRE (2017). *Impacto socioeconómico de los desastres en México durante el 2017*. Ciudad de México: CENAPRED.
- CENTRO NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN DEL DESASTRE (2018). *Sistemas de Alerta Temprana*. Ciudad de México: CENAPRED.
- DOMÍNGUEZ SARMIENTO CHRISTIAN (2012). *El papel de los ciclones tropicales en el clima de México*. Tesis de maestría. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- DOMÍNGUEZ SARMIENTO CHRISTIAN (2018). *Los ciclones tropicales y la predictibilidad del clima de México*. Tesis de doctorado. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- FERRADAS MANUCCI PEDRO (2008). “Percepciones de riesgo”. *EIRD Informa: Reducción de desastres en las Américas*, Vol. 15: 30-32. Recuperado de <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc17255/doc17255-contenido.pdf>
- INSTITUTO MEXICANO PARA LA COMPETITIVIDAD (2016). “Estudio de hábitos de los usuarios de internet en México vía AMIPCI”. IMCO. Recuperado de https://imco.org.mx/banner_es/estudio-de-habitos-de-los-usuarios-de-internet-en-mexico-via-amipci/
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014). *Climatechange 2014: A synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- LORENZ EDWARD N. (1975). ““Climatic predictability”. The physical basis of climate and climate modeling. (Appendix 2.1)”. *GARP Publication Series in Geneva: World Meteorological Organization*, Vol. 16: 132-136.
- MAGAÑA RUEDA VÍCTOR (2004). *Los impactos de El Niño en México*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México/ Inter American Institute for the Global Change Research/ Secretaría de Gobernación/Secretaría de Educación Pública-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.



MANSILLA ELIZABETH (2000). *Riesgo y ciudad*. México, D.F: División de estudios de posgrado. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.

NATIONAL HURRICANE CENTER (2018). Saffir Simpson Hurricane Wind Scale. Recuperado de <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (2017). *Objetivos de desarrollo sostenible*. México: ONU. Recuperado de <http://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>

PALMER TIM (2006). “Predictability of weather and climate: from theory to practice”. En: Palmer and R. Hagedorn. *Predictability of Weather and Climate*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

PROCESO (2018). “Reclaman abandono de autoridades federales y estatales a damnificados en Chiapas”. Recuperado de <https://www.proceso.com.mx/550034/reclaman-abandono-de-autoridades-federales-y-estatales-a-damnificados-de-chiapas>

Contacto de los colaboradores:

Christian Domínguez Sarmiento - Red Latinoamericana de Ciencias Atmosféricas y Meteorología (RedLAtM), Facultad de Ciencias, UNAM. Dra. en Ciencias de la Tierra <dosach87@gmail.com>

Palmira Cuéllar Ramirez - Licenciatura en Ciencias de la Tierra, UNAM, Red Latinoamericana de Ciencias Atmosféricas y Meteorología (RedLAtM) y YESS Community, Pasante de Licenciatura <palmira@comunidad.unam.mx>

Carlos Welsh Rodríguez - Centro de Ciencias de la Tierra (CCT). Universidad Veracruzana, Dr. en Ciencias <Ambientalescwelsh@uv.mx>

Carolina Ochoa Martínez - Centro de Ciencias de la Tierra (CCT). Universidad Veracruzana, Dra. en Ingeniería <caochoa@uv.mx>





Perfil de resiliencia urbana de la isla de Cozumel, México

Urban resilience profile of Cozumel Island, Mexico

Oscar Frausto Martínez - Universidad de Quintana Roo – División de Desarrollo Sustentable

Javier Tun Chim - Centro de Estudios Sociales y Ambientales del Caribe A.C.

Orlando Colín Olivares - Universidad de Quintana Roo – División de Desarrollo Sustentable

Aidé Vázquez Sosa - Universidad de Quintana Roo – División de Desarrollo Sustentable

Rosa Dzul Pech - Universidad de Quintana Roo – División de Desarrollo Sustentable

Rosalinda Isla García - Universidad de Quintana Roo – División de Desarrollo Sustentable

María Luisa Hernández Aguilar - Universidad de Quintana Roo – División de Desarrollo Sustentable

Milagros Campos Vargas - Universidad Autónoma del Estado de México – Red de riesgo de desastres y resiliencia urbana

Lucinda Arroyo Arcos - Universidad de Quintana Roo – División de Desarrollo Sustentable

Gerardo Palacio Aponte - Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Geografía

Recibido: 14 de mayo de 2018.

Aprobado: 10 de julio de 2018.

Resumen:

La determinación de perfiles de resiliencia urbana es una línea de trabajo que instauró el gobierno de México en el año 2016. Su primera versión fue a nivel nacional con la generación de un reporte de 17 ciudades. Los principales resultados arrojaron una deficiencia técnico metodológico para hacer frente al desastre y se reconoce la necesidad de elaborar perfiles que consideren el “sentir” local y la participación de los habitantes. Así, el presente estudio tiene como finalidad la determinación del perfil de resiliencia de los asentamientos humanos de la isla de Cozumel, lugar con más de 85 mil habitantes y con impacto de huracanes de categoría 4. Se parte de la técnica de los 10 esenciales, cuyas secciones se enriquecieron con preguntas específicas a manera de indicadores. Se estableció el relevamiento de información a través de un muestreo representativo a nivel municipal –manzana, recopilando datos de 519 hogares en los meses de junio y julio del año 2018. Finalmente, se resume que el grado de resiliencia de la isla de Cozumel es de 5.18, considerando como medio, y con retos significativos en la capacidad social e institucional para hacer frente a la gestión integral de riesgo ante desastres.

Palabras clave: gestión del riesgo, capacidad adaptativa, ciudades resilientes, monitoreo, prevención, diagnóstico participativo.

Abstract

The determination of urban resilience profiles is a line of work established by the government of Mexico in 2016. Its first version was nationwide with the generation of a report of 17 cities. The main results showed a methodological technical deficiency to face the disaster and the need to elaborate profiles that consider the local “feeling” and the participation of the inhabitants is recognized. Thus, the present study aims to determine the resilience profile of the human settlements on the island of Cozumel, an island with more than 85 thousand inhabitants and with the impact of category 4 hurricanes; for this, it is based on the technique of the 10 essentials, whose sections were enriched with specific questions as indicators. The survey of information was established through a representative sample at the municipal level – block, collecting data from 519 households in the months of June and July 2018. Finally, it is summarized that the degree of resilience of the island of Cozumel is 5.18, considering as a means, and with significant challenges in the social and institutional capacity to face the integral management of disaster risk.

Key words: Risk management, adaptive capacity, resilient cities, monitoring, prevention, participatory diagnosis.

Introducción

Las actividades propias de la existencia del ser humano se transcriben en el espacio, como la relación hombre-naturaleza; en este contexto se presentan modelos de organización espacial que implican factores históricos, culturales, políticos y económicos en los que se delinea la edificación de estructuras espaciales específicas como las ciudades. Estos procesos de ocupación imprimen la modificación y afectación del medio ambiente natural, con implicaciones relacionadas con la propensión de afectación por problemas vinculados con los riesgos de desastres.

Desde esta perspectiva, el informe *Grand Challenges* del Subcomité para la Reducción de los Desastres (SDR) (Subcommittee on Disaster REduction, 2005), se elabora y facilita un plan para poder caracterizar y fomentar que las comunidades presenten cierta resistencia a los desastres, cuyo objetivo es impulsar el interés inicial en la resiliencia frente a los desastres. En esta misma línea, el Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-HABITAT, 2016) promueve un enfoque que integra como eje central la resiliencia frente a amenazas múltiples, considerando la capacidad de recuperación frente a todo tipo de peligros plausibles. Con base en esto, la oficina de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) y ONU Hábitat delinearon la Guía de Resiliencia Urbana 2016 (SEDATU, 2016) como una estrategia para la ordenación del uso del suelo urbano que dé apoyo y haga frente a la recuperación después de un evento de amenaza y/o riesgo de desastre.

El proyecto general se plantea a partir de crear una red de ciudades resilientes que sirvan como plataforma para que los gobiernos municipales compartan sus experiencias en temas relacionados con la resiliencia y la gestión integral del riesgo. La categoría de análisis está definida para zonas urbanas derivado de la problemática que estas presentan en cuanto a una gran actividad económica que propicia la concentración de población y una mayor demanda de servicios e infraestructura, la desestructuración social y, en algunos casos, asentamientos en lugares poco aptos —que son propensos a problemas de hundimientos, sismos, derrumbes o inundaciones, entre otros peligros—, propiciando condiciones de vulnerabilidad. Es por eso que es común que en algunas zonas de las ciudades no se garanticen las mejores condiciones para la habitabilidad.

De esta forma, se desarrolla la propuesta metodológica del Perfil de Resiliencia Urbana, conformada por un conjunto de indicadores, que permiten medir las condiciones actuales que influyen en la resiliencia ante desastres de orden natural para zonas urbanas, en el que se toma la premisa: es necesario entender la problemática, su origen y recursos con los que cuenta la ciudad para hacer frente al riesgo de desastre.

Se puede considerar al índice de resiliencia como una herramienta estratégica de las políticas públicas en cuanto a la elaboración de Programas, Planes y Proyectos (PPP) relacionada con la ordenación del territorio y planeación urbana. Es importante mencionar que el conjunto de indicadores considerados para la elaboración del índice, proporcionan el primer esfuerzo para conocer las condiciones que construyen la resiliencia. La elaboración del índice de resiliencia toma como base conceptual la visión holística de la Gestión Integral del Riesgo (GIR) y su relación con el desarrollo sostenible. De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos:



Las típicas medidas de reducción de riesgos tienden a concentrarse en una amenaza específica y dejan de lado la vulnerabilidad frente a otro tipo de peligros, la resiliencia adopta un enfoque frente a amenazas múltiples, considerando la capacidad de recuperación frente a todo tipo de peligros plausibles (SEDATU-ONU Hábitat, 2016: 36).

En ese sentido, es necesario enfocar los esfuerzos por aumentar la resiliencia de las ciudades con el fin de un manejo y reducción de riesgos a partir de incidir en los tipos de vulnerabilidad física y social, hasta la institucional o educativa.

Perfil e índices de resiliencia urbana

De acuerdo con Lavell (2003), el concepto de GIRD (Gestión Integral de Riesgo a desastres) surge en la década de los 90 como un paradigma que buscaba superar las generalidades planteadas por términos como prevención y mitigación de desastres y fue, en ese momento, que se dio un impulso y el surgimiento de un grupo valorado de investigadores que, más allá de enfocarse en el estudio de los peligros o amenazas, desarrollaron la idea de que el desastre era simplemente la concreción de un riesgo, en la cual el evento físico sirve únicamente de detonador, pero no es la causa única que le da origen. Así alrededor de 1996, emergió la noción de la GIRD atribuible al grupo de investigadores que conformaron la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED).

En México, esta nueva visión sobre el tema de los desastres y la forma en la que debe afrontarse les quedó plasmada en las reformas a la Ley General de Protección Civil (LGPC) publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 12 de junio de 2012, la cual contempla en sus líneas de acción la elaboración de perfiles de resiliencia urbana, con orientación a reducir y mitigar los efectos de los fenómenos perturbadores y contribuir al crecimiento ordenado de los asentamientos humanos, y a la realización de acciones de prevención y mitigación de riesgos de desastres (SEDATU, 2016). Dentro de este documento también se especifica y/o define a la resiliencia como:

La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad, potencialmente expuesta a un peligro para resistir, asimilar, adaptarse y recuperarse de sus efectos a un corto plazo y de manera eficiente, a través de la preservación y restauración de sus estructuras básicas y funcionales, logrando una mejor protección futura y mejorando las medidas de reducción de riesgos (LGPC, 2012, s. p.)

A partir de este momento, el concepto de resiliencia comienza a tener una mayor trascendencia dentro del marco del estudio de los riesgos de desastres y se incorpora en la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, como una variable transversal que ayuda a responder preguntas como: ¿Qué tan preparado se está para afrontar las emergencias y las situaciones adversas?, ¿qué tanto se emplea el conocimiento del riesgo para la planeación del desarrollo y el ordenamiento territorial?, ¿qué tan bien se está organizado y preparado para acciones preventivas?, ¿qué tanto conocimiento tiene la población que se traduzca en acciones para reducir sus riesgos y prepararse para las emergencias? Por lo que puede sugerirse que la resiliencia en la GIR es una estrategia para el diseño de políticas y acciones urbanas que contribuyen a reducir el riesgo de la actividad social y productiva.



En concordancia con los conceptos ya mencionados, la construcción del Perfil del Resiliencia Urbana, se plantea desde la premisa de entender a la ciudad, como un sistema complejo en el que existen exigencias relacionadas con una fuerte demanda de ocupación de tierra que ocasiona cierto deterioro físico y social; situación que puede derivar en profundas transformaciones del espacio, sin tener claridad sobre los efectos que estas transformaciones conllevan (Carrillo, 2005) y en las que los desastres pueden ser una consecuencia de dichos efectos. Partiendo de esta lógica, para el cálculo del perfil se incluyen temas relacionados con las variables específicas en cuanto a cuestiones sociales, económicas, políticas y ambientales que permiten alcanzar el objetivo de conocer “la capacidad de resistencia, adaptación, absorción y recuperación ante el impacto de algún proceso natural que implique amenaza de riesgo de desastre” (SEDATU, 2016).

Desde el punto de vista técnico, se implementa un enfoque analítico, que parte de utilizar la estructura propuesta por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, en la que se analiza la resiliencia a partir de 10 aspectos esenciales vinculados con el Marco de SENDAI firmado por México, en el que se integran indicadores y subindicadores, se añade un eje transversal referente a la situación socioeconómica, cambio climático, perspectiva de género y diversidad cultural, toda esta información adaptada a las necesidades del gobierno local (ONU-HABITAT, 2016).

La aplicación principal de un sistema de indicadores de resiliencia está orientada a reflejar o valorar aspectos como: organización para la resiliencia frente a los desastres, identificación, comprensión y uso de escenarios de riesgo, diseño y desarrollo urbano, ambiental, capacidad institucional, etcétera. Estos aspectos permiten conocer la dinámica de factores clave que contribuirán a la estimación de resultados que inciden directamente en el nivel de resiliencia. De esta forma, el Perfil de Resiliencia Urbana (PRU) permitirá a la ciudad contar con un diagnóstico detallado, que dé cuenta del estado que guarda en cuanto a sus capacidades en GIR ante amenazas construidas por la interacción sociedad-naturaleza, información que puede considerarse de relevancia por constituirse como una herramienta para la toma de decisiones asertiva en torno al desarrollo urbano y ordenamiento territorial.

A nivel internacional, desde la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres en 2005, con el Marco de Acción de Hyogo (2005-2015), la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres tenía por objetivo principal el “aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres”, continuidad que se da con el Marco de Sendai (2015-2030) donde se le suma “Reducción del Riesgo de Desastres” como acuerdos de política en la Gestión Integral del Riesgo (GIR), adoptada por los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). El fomento de la resiliencia ante los desastres es también una dimensión fundamental de los recién aprobados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para poner fin a la pobreza y promover el reparto de la prosperidad de aquí a 2030.

México está expuesto a distintas amenazas o peligros, entendiendo que estos son los fenómenos naturales o antropogénicos que pueden producir un desastre. El riesgo de desastre se describe generalmente como una percepción de la amenaza y un contexto de vulnerabilidad, incluyendo



la resiliencia del sistema social amenazado. De acuerdo con la magnitud de un desastre, se rebasan las capacidades individuales (la mayoría de las veces) y, por ello, se justifica la intervención pública, luego entonces podemos inferir que también hay una responsabilidad del estado en la reducción de los factores de la vulnerabilidad que los individuos no pueden modificar por sí solos (Estrada, 2014). Esta responsabilidad en el país se atiende a través de la “política de prevención de desastres”, la cual busca como conjunto: el conocimiento de las amenazas, la disminución de los riesgos y la reducción de las vulnerabilidades.

La política mexicana de desastres se basa en una serie de instrumentos que inciden en los distintos momentos del desastre (de la etapa de riesgo al post-desastre), aunque hasta ahora se ha privilegiado la atención de emergencias y no se ha dado el valor suficiente a los instrumentos y prácticas que podrían conducir a una política “real” de la Gestión Integral de Riesgos (GIR). Un paso fundamental, en ese sentido, fue transitar de una visión predominantemente reactiva a una de mayor prevención y planeación, lo que fortaleció la articulación entre instituciones y órdenes de gobierno, con el fin de ser más eficientes en el uso de los recursos más eficaces en el propósito fundamental de la protección civil: salvar vidas. Por tal motivo, se diseñó una estrategia integral de riesgos, que pone en el centro de sus acciones a la ciudadanía, y que suma las capacidades de gobierno, sector privado y sociedad civil en torno a objetivos compartidos.

ONU-Hábitat promueve un nuevo enfoque para implementar ciudades resilientes: el Programa de Perfiles de Ciudades Resilientes (City Resilience Profiling Programme, CRPP, por sus siglas en inglés) es una guía que provee a gobiernos nacionales y locales de herramientas necesarias para medir y aumentar la resiliencia frente al impacto de múltiples amenazas. El CRPP desarrolla un enfoque de planificación y gestión urbana amplio e integrado para elaborar perfiles y acompañar la resiliencia de una ciudad frente a los posibles peligros, con lo cual el desarrollo de indicadores será el reto principal (Yamagata y Sharifi, 2018).

La generación de indicadores parte de un proceso analítico que destaca la transformación de datos a indicadores y de ahí a decisiones (Birkmann y Winsor, 2006), cuyo principio central es el monitoreo (Frausto, *et al.*, 2018) en donde los indicadores se definen en función de los objetivos, metas, concepto, fuente de datos, unidad de medición y cohorte histórico y espacial, donde el peso de los mismos, de acuerdo con Wamsler (2014): está determinado por la técnica de análisis, en este caso, señalado por la de diez esenciales, donde todos los indicadores contribuyen a generar una suma total de acciones, más que un número de calificación. La validez del sistema radica en la planificación, la toma de decisiones y prospectiva a largo plazo para reducir los desastres y aumentar la resiliencia (Hernández, 2018).

A partir de lo anterior se elaboró el Perfil de Resiliencia Urbana de Cozumel (PRUC), con el cual se busca que la isla se incorpore a la Red de Ciudades Resilientes y que además incorpore los conocimientos y la participación de la población en general.



Métodos

Área de estudio: el municipio de Cozumel se ubica en el norte del estado de Quintana Roo; es un territorio insular (con dos pequeños territorios en el sector continental), entre las coordenadas extremas, al norte $20^{\circ} 36'$, al sur $20^{\circ} 16'$ de latitud norte; al este $86^{\circ} 44'$ y oeste $87^{\circ} 20'$ de longitud oeste (INEGI, 2018). De acuerdo con los datos del INEGI (2018), tiene como colindancias al norte y al sur con el municipio de Solidaridad y el Mar Caribe; al este, con el Mar Caribe y al oeste con el municipio de Solidaridad. El municipio tiene una extensión total 647.33 km^2 lo que representa el 1.27 % del estado (Figura 1). La isla de Cozumel está conformada por islotes y cayos adyacentes, además de un polígono de 11.9 Ha en la zona continental en donde se localizan las instalaciones de Calica y otro polígono de 90 Ha que comprende el Parque Ecológico de Xel-Ha. La isla tiene alrededor de 39 kilómetros de largo y una anchura media de 12.8 kilómetros. El clima es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 25.5 grados centígrados y las precipitaciones alcanzan los 1 504 milímetros anuales. Los ciclones afectan de manera constante, aumentando la cantidad de lluvias en el verano. La isla está cubierta en casi toda su extensión por selva mediana subperennifolia cuya flora principal son: zapote, *chacah*, ramón, etcétera. En el litoral norte existe el Tular, en la costa sudoccidental de la isla existe una barrera arrecifal que constituye el Parque Marino Nacional. En el 2016 contaba con un total de 86, 415 habitantes de los cuales 42, 577 son hombres y 43 838 son mujeres (INEGI – GQROO, 2016).

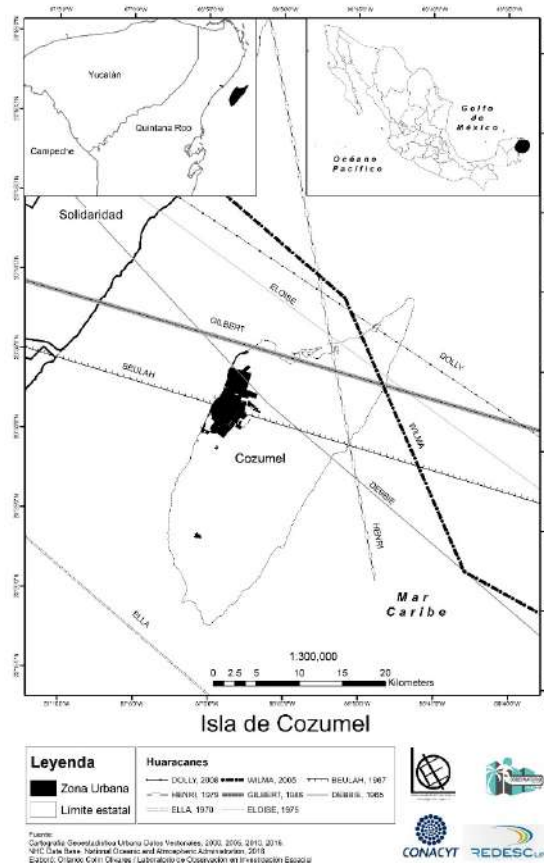


Figura 1. Mapa de ubicación de la isla de Cozumel, México. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2018) y NOAA (2016).



Encuesta: la construcción del Perfil de Resiliencia Urbana de Cozumel incorpora, como elemento fundamental, la participación de la población a través de una encuesta en hogares, con el fin de recoger información sobre algunas características de las viviendas y las personas, pero sobre todo, para obtener información acerca del conocimiento de aspectos asociados con la resiliencia y sobre la percepción de la población de estos temas. Se presenta a continuación el diseño muestral de la encuesta hecha en los hogares. El periodo de levantamiento fue del 5 de julio al 2 de agosto de 2018. El diseño muestral es probabilístico y bietápico (unidad de selección: vivienda particular habitada; unidades de observación: personas residentes de las viviendas de 15 años y más y personas residentes de las viviendas de 15 a 29 años). Para la encuesta se utilizaron diferentes marcos muestrales como: Marco Geoestadístico Nacional (MGN), febrero 2018; Inventario Nacional de Viviendas 2016 –de este marco se obtuvo otra lista de localidades y nombres del municipio de Cozumel, para contrastar con el MGN- y la Encuesta Intercensal 2015, de este marco se obtuvo el último dato de la población total y viviendas particulares habitadas en el municipio de Cozumel. De acuerdo con la Encuesta Intercensal 2015, en el municipio de Cozumel habitaban 22,296 personas de 15 a 29 años, lo que representaba el 25.8% del total de la población. Se definieron dos unidades de muestreo con base en el Inventario Nacional de Viviendas 2016: Unidad Primaria de Muestreo (UPM), Áreas Geoestadísticas Básicas (59 en total) y Unidad Secundaria de Muestreo (USM) y Manzanas (1,236 en total). El tamaño de la muestra fue de 517 viviendas a nivel agregado del municipio de Cozumel utilizando los siguientes parámetros:

- Nivel de confianza: 95%
- Proporción de interés: 70%
- Error relativo esperado: 5%
- Tasa de no respuesta esperada: 15%

Construcción de los indicadores: la integración de los componentes propuestos por el perfil de resiliencia urbana de ONU-Hábitat– SEDATU y la encuesta a hogares de Cozumel (2018) se realizó a partir de la construcción del Índice del Perfil de Resiliencia Urbana que se describe a continuación: el índice se construye a partir de la técnica de los 10 esenciales, que a su vez integran 68 indicadores, 30 propuestos por el perfil de Resiliencia (y monitoreados a través de encuestas estructuradas a los funcionarios municipales del Ayuntamiento de Cozumel) y 38 indicadores de la Encuesta a hogares de Cozumel 2018. Cada eje recibe una misma ponderación (10%), que en suma construyen el índice en una escala del 0 al 10, en donde la situación ideal de resiliencia urbana es 10. Para el caso de las respuestas binarias, se señala el porcentaje de acuerdo con el sistema de respuestas válidas por pregunta, de ahí se pondera según el valor del indicador; para el caso de un sistema multirespuesta, se destaca aquellos de mayor mención, calculando con el indicador que se utiliza para el índice ponderado. El listado de indicadores y ejes, con su correspondiente fuente de información, se presenta en la Tabla 1.



Para calcular el valor de escala (de 0 a 1) de cada indicador, se utiliza una fórmula para los indicadores cualitativos, a los cuales se le asigna un valor en una escala que va de “muy bajo” a “muy alto” en función de las listas de verificación y una fórmula para los indicadores cuantitativos, obtenidos a través de la encuesta a hogares. La fórmula para obtener el valor escalar para los indicadores cualitativos fue:

$$Valorescalar_i = \frac{1/n}{Valor\ del\ nivel_i}$$

En donde: n es el número de indicadores por eje.

La fórmula para obtener el valor escalar para los indicadores cuantitativos fue:

$$Valor\ escalar_i = \left(\frac{1}{n}\right) \times Valor\ observado_i$$

En donde: n es el número de indicadores por eje. Valor observado es el porcentaje de cumplimiento del indicador.

Para el cálculo del eje se utiliza la siguiente fórmula:

$$Eje_j = \sum_{i=1}^n valor\ esclar_i$$

Para el cálculo del índice se utiliza la siguiente fórmula:

$$PRU = \sum_{j=1}^m Eje_j$$



Tabla 1. *Ejes, indicadores y fuente de datos del perfil de resiliencia urbana de la isla de Cozumel. (Para una descripción detallada de los indicadores remitirse a Frausto, 2018).*

Eje	Indicador	Fuente del indicador
I.- Organización para la resiliencia frente a los desastres	I.1 La GIRD es un tema clave en el Plan Municipal de Desarrollo Vigente.	Plan Municipal De Desarrollo 2016 -2018
	I.2 Se realizan gestiones de colaboración con organismos internacionales/nacionales para fortalecer la GIRD y resiliencia.	Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN 2011-2013)
	I.3 Existen mecanismos funcionales para identificar el riesgo prioriza los recursos de inversión para una gestión efectiva de los riesgos.	Resiliencia y Cambio Climático (Protección Civil)
	I.4 Existe un Marco normativo sólido enfocado en GIRD y en aumentar la resiliencia	Ley General de Protección Civil 2018
	I.5 ¿Conoce o ha escuchado sobre, Atlas de riesgo del Municipio de Cozumel, Plan Municipal de Desarrollo de Cozumel, Programa de Ordenamiento Ecológico Local, Reglamento de Construcción de Cozumel, Reglamento de la Ley General de Protección Civil?	Encuesta a hogares 2018
	I.6 ¿Ha participado en las consultas públicas de los instrumentos de planeación (<i>Atlas de riesgos del Municipio de Cozumel</i> , Plan Municipal de Desarrollo de Cozumel, Programa de Ordenamiento Ecológico Local, Reglamento de construcción de Cozumel, Reglamento de la Ley General de Protección Civil)?	Encuesta a hogares 2018
II.- Identificación, comprensión y utilización de escenarios de riesgo	II.1 Un análisis técnico de los peligros y/o riesgos para identificar la exposición y la vulnerabilidad	Atlas de Riesgos Municipal 2011
	II.2 Una plataforma de información de riesgos actualizada periódicamente que permite a los actores y a la población acceder e intercambiar información relacionada con el riesgo.	No existe
	II.3 ¿Sabe qué significa el concepto de Capacidad Adaptativa?	Encuesta a hogares 2018
	II.4 ¿Ha vivido una situación de crisis en Cozumel?	Encuesta a hogares 2018
	II.5 ¿Considera que su vivienda se encuentra en una zona de riesgo?	Encuesta a hogares 2018
III.- Capacidad financiera	III.1 El municipio cuenta con un plan (o procedimientos), financieros(s) adecuado y recursos disponibles para fortalecer la GIRD y resiliencia, incluida la adaptación climática a largo plazo.	No cuenta con plan debido a que no existía un atlas de riesgo estatal actualizado
	III.2 El municipio cuenta con un presupuesto específico y los arreglos para atender contingencias y la prevención gestión y prevención del riesgo de desastres a nivel local (mitigación prevención respuesta y recuperación).	No existe
	III.3 Existen medios para garantizar un apoyo financiero adecuado a la protección de los sectores vulnerables de la población del municipio.	No existe
	III.4 ¿Esta vivienda es propia, se paga renta, es de un familiar o les prestan la vivienda, la ocupan en otra situación?	Encuesta a hogares 2018



	III.5 ¿Esta vivienda está <i>totalmente pagada</i> , la están pagando, la dejaron de pagar?	Encuesta a hogares 2018
	III.6 ¿Las escrituras de esta vivienda están/estarán a nombre de alguien que vive en esta vivienda?	Encuesta a hogares 2018
	III.7 ¿En esta vivienda tienen servicio de televisión de paga / computadora / línea telefónica fija / internet / teléfono celular / smartphone / radio?	Encuesta a hogares 2018
	III.8 ¿Se ha adquirido un seguro para su vivienda?	Encuesta a hogares 2018
	III.9 ¿Cuenta usted con ahorros o recursos económicos para hacer frente a un huracán o desastre?	Encuesta a hogares 2018
IV.- Diseño y desarrollo urbano	IV.1 El programa Municipal de Desarrollo Urbano y de Ordenamiento Territorial está vigente, lo ejecutan e integran la información de riesgo actualizada.	Programa de Desarrollo Urbano de la Zona 1 de Cozumel 2015 / Programa de Desarrollo Urbano Cozumel zona 4 surponiente 2006
	IV.2 Existe un mecanismo/proceso para implementar una planificación urbana y ordenamiento territorial, integrando el enfoque de riesgos y se hace de manera participativa.	Ley de Asentamientos Humanos del Estado de Quintana Roo
	IV.3 El municipio desarrolla, actualiza y aplica el uso de códigos y normas de construcción e inversión, de acuerdo con el marco legal, la información de riesgos y posibles impactos pertinentes del cambio climático.	Reglamento de Construcciones para el Municipio de Cozumel del Estado de Quintana Roo 2010
	IV.4 De acuerdo con su experiencia, ¿los parques y jardines de la colonia son limpios y tienen buena imagen?	Encuesta a hogares 2018
	IV.5 ¿Cómo acostumbra a ir al trabajo, la escuela o a su destino más frecuente?	Encuesta a hogares 2018
	IV.6 ¿Cuánto tiempo hace al trabajo, escuela o al destino más frecuente?	Encuesta a hogares 2018
	IV.7 ¿Considera que su opinión ha sido tomada en cuenta en la planeación urbana?	Encuesta a hogares 2018
V.- Ambiental	V.1 Existen soluciones para tratar los riesgos ambientales actuales y futuros. Por ejemplo, infraestructura verde y azul (soluciones basadas en la naturaleza o en la protección de los ecosistemas).	Evaluación de Carbono azul de los manglares de Cozumel como estrategia de factibilidad para evitar, reducir y/o mitigar emisiones de gases de efecto invernadero
	V.2 El municipio protege y restaura los ecosistemas en la medida en que ofrecen la suficiente adaptación y mitigación de los riesgos actuales y futuros.	Programa de manejo del área natural protegida con carácter de área de protección de flora y fauna porción norte y franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel 2015



	V.3 ¿En esta vivienda tiene focos ahorradores, calentador solar de agua, aire acondicionado, panel solar para tener electricidad?	Encuesta a hogares 2018
	V.4 ¿La basura de esta vivienda se la dan a un camión o carro de basura / la dejan en un contenedor o depósito / la queman / la entierra / la llevan al basurero público / la tiran en otro lugar?	Encuesta a hogares 2018
	V.5 ¿Acostumbran a separar la basura en orgánica e inorgánica antes de entregarla al camión o dejarla en el contenedor?	Encuesta a hogares 2018
	V.6 ¿Conoce un área Natural Protegida en Cozumel?	Encuesta a hogares 2018
	V.7 En caso de huracán o desastre, ¿qué acciones realiza previo a su llegada?	Encuesta a hogares 2018
	V.8 ¿Cuál de estos ambientes naturales considera que lo protege ante el peligro de huracanes, tormentas o nortes?	Encuesta a hogares 2018
VI.- Capacidad institucional para la resiliencia	VI.1 Se cuenta con la normatividad en gestión de riesgos de desastres y resiliencia.	Reglamento Municipal de Protección Civil 2011
	VI.2 El municipio ha establecido procedimientos que permiten fortalecer las capacidades de los actores que participan en los temas de gestión de riesgos y resiliencia frente a los desastres.	No existe
	VI.3 El municipio controla el riesgo y se han establecido procedimientos de transparencia, de información y comunicación vinculados con la GIRD y resiliencia.	No existe
	VI.4 El municipio utiliza la capacidad del sector privado, la sociedad civil y de academia para la protección civil, GIRD, cambio climático y resiliencia.	PRU
	VI.5 ¿Ha recibido alguna capacitación en prevención y reconstrucción después de un huracán o desastre?	Encuesta a hogares 2018
	VI.6 ¿Conoce las instituciones que brindan apoyo en caso de huracanes o desastres?	Encuesta a hogares 2018
VII.- Capacidad social para la resiliencia	VII.1 El municipio proporciona apoyo social a los sectores más vulnerables de la ciudad, aumentando así su capacidad y reduciendo su vulnerabilidad frente a desastres.	No existe
	VII.2 Se entiende que hay cohesión y tejido social en el Municipio.	No existe
	VII.3 El municipio ha establecido procedimientos suficientes para fortalecer la capacidad social.	No existe
	VII.4 ¿Pertenece usted a alguna agrupación o asociación?	Encuesta a hogares 2018
	VII.5 En caso de huracán o desastre, ¿se organizan entre vecinos para apoyarse?	Encuesta a hogares 2018
	VII.6 ¿Por cuáles medios de comunicación se informa sobre alertas de huracanes o desastres?	Encuesta a hogares 2018



VIII.- Infraestructura	VIII.1 El municipio pone en práctica un plan o estrategia de resguardo y protección de infraestructura y servicios críticos para garantizar la continuidad de las operaciones.	No existe
	VIII.2 El municipio cuenta con infraestructura de protección/mitigación de riesgos, acorde a las necesidades y recibe el mantenimiento adecuado.	No existe
	VIII.3 Se han implementado obras y acciones para proteger la infraestructura crítica, reducir el riesgo y aumentar la resiliencia.	No existe
	VIII.4 Materiales durables en la vivienda	Encuesta a hogares 2018
	VIII.5 ¿De qué material es la mayor parte del techo de esta vivienda?	Encuesta a hogares 2018
	VIII.6 ¿Cuál es la forma de disponibilidad de agua en la vivienda?	Encuesta a hogares 2018
	VIII.7 ¿Esta vivienda está conectada a drenaje de la red pública / Fosa séptica / Conectado a otro sitio (suelo / No tiene drenaje)?	Encuesta a hogares 2018
	VIII.8 ¿Cuál es el tipo de sanitario en la vivienda?	Encuesta a hogares 2018
	VIII.9 ¿La tubería del drenaje pluvial se descarga?	Encuesta a hogares 2018
	VIII.10 ¿Hay luz eléctrica en esta vivienda?	Encuesta a hogares 2018
	VIII.11 ¿El combustible que más usan para cocinar es gas?	Encuesta a hogares 2018
	VIII.12 ¿Ha realizado medidas de prevención en su vivienda para hacer frente a huracanes o desastres?	Encuesta a hogares 2018
IX.- Respuesta adecuada y efectiva	IX.1 Planeación de gestión de desastres/preparación frente a desastres/emergencia que describe las medidas de mitigación preparación y respuesta a las emergencias locales.	Plan Municipal de contingencias por ciclones 2018
	IX.2 Adaptación para continuar con las funciones críticas incluso en una situación de emergencia.	Plan Municipal de contingencias por ciclones 2018
	IX.3 Implementación de alerta temprana	Plan Municipal de contingencias por ciclones 2018
	IX.4 ¿Conoce el refugio más cercano a su vivienda?	Encuesta a hogares 2018
	IX.5 ¿Considera que está preparada(o) para reaccionar ante la llegada de un huracán?	Encuesta a hogares 2018
X.- Reconstrucción y recuperación	X.1 El municipio cuenta con una estrategia proceso o plan para la reconstrucción y recuperación después de un desastre, tanto en términos económicos como sociales.	Reglas generales de FONDEN
	X.2 ¿Ha participado en acciones de recuperación en su colonia o en la isla después del paso de un huracán?	Encuesta a hogares 2018
	X.3 ¿Conoce programas de ayuda en la recuperación y reconstrucción después de un huracán o desastre?	Encuesta a hogares 2018
	X.4 ¿Está dispuesto a participar en acciones de recuperación en su colonia después del paso de un huracán?	Encuesta a hogares 2018

Fuente: Elaboración propia con base en ONU – Hábitat SEDATU (2016) y Frausto,(2018).



Resultados

A continuación se presenta el resultado del índice por cada eje y a manera global del perfil de resiliencia urbana de la isla de Cozumel 2018:

Eje I. Organización para la resiliencia frente a los desastres: los resultados dejan ver que la participación de la población en la planeación municipal es el aspecto más débil de los indicadores, tanto en el conocimiento de los instrumentos como en la participación en las consultas públicas. Además, el actual Plan Municipal de Desarrollo no incorpora la Gestión Integral de Riesgo de Desastre (GIRD), por lo cual se considera oportuno que ante la eminente elaboración del nuevo Plan Municipal de Desarrollo (PMD) este enfoque esté integrado (Figura 2).

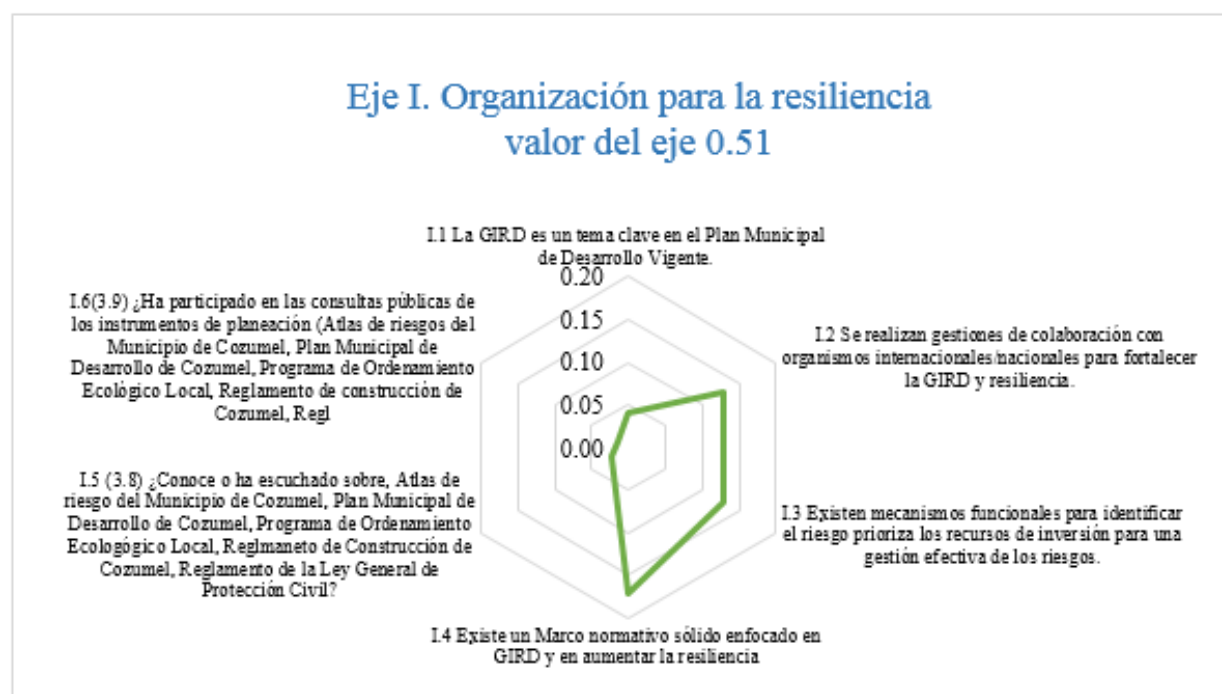


Figura 2. Grado de Resiliencia Eje 1. Fuente: Elaboración propia con base en la encuesta a hogares 2018 y entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

Eje II. Identificación, comprensión y utilización de escenarios de riesgo: respecto a los escenarios de riesgo, es notable que la mayor parte de la población de la isla ha vivido alguna situación de crisis, lo anterior hace idónea una cultura local que incorpora el riesgo en la vida cotidiana. Sin embargo, se observan áreas de oportunidad en esta cultura cívica y de gobierno para reducir la vulnerabilidad de la población a través de herramientas técnicas de información y programas permanentes que sirvan para atender a la población localizada en zonas de riesgo. El valor del eje no supera el 50% de la escala (Figura 3), lo cual hace que la atención recaiga sobre la importancia de atender los aspectos considerados en los indicadores.



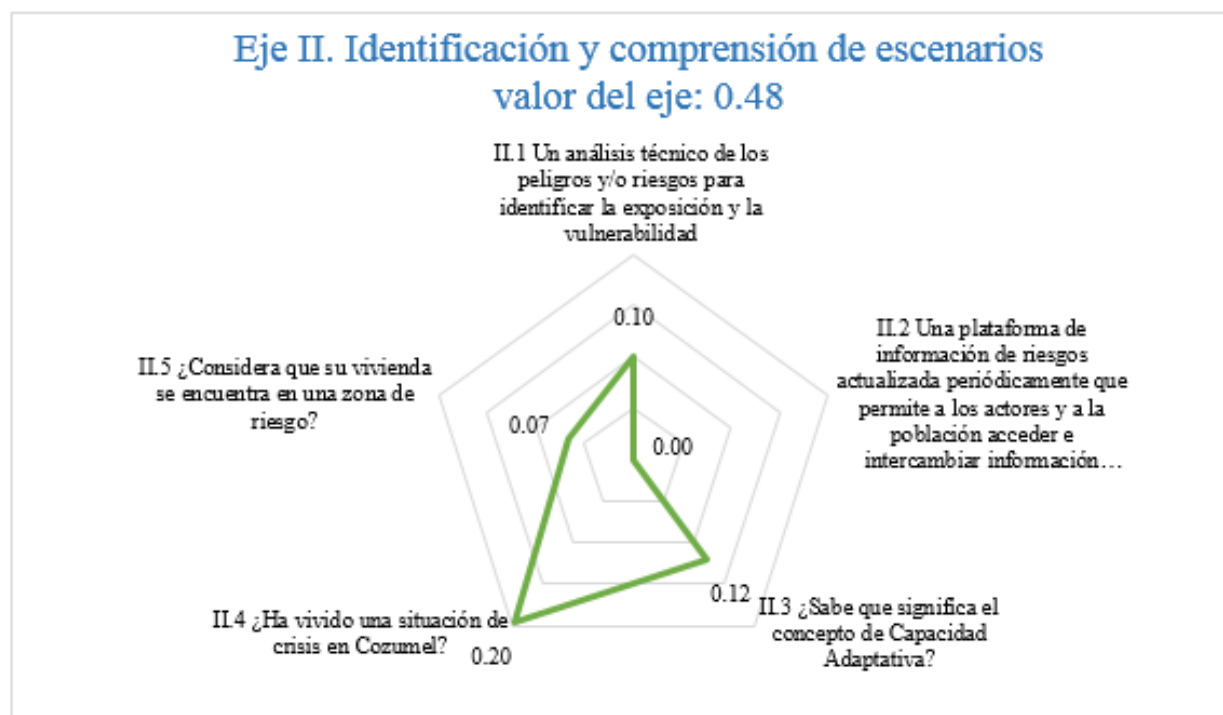


Figura 3. Grado de Resiliencia Eje II. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

Eje III. Capacidad financiera para la resiliencia: el eje no supera el 50% del valor escalar (Figura 4), lo cual es resultado de la inexistencia de instrumentos clave para la resiliencia urbana que implica previsiones y presupuestos financieros municipales para hacer frente a situaciones de desastre a nivel local.

Eje IV. Diseño y desarrollo urbano: los indicadores sobre diseño y desarrollo urbano evidencian que es necesario actualizar los instrumentos de planificación de dicho desarrollo, más cuando la situación socioeconómica y demográfica de la isla de Cozumel es dinámica. Como efecto, la población en general incorpora en su vida cotidiana estos rezagos, que en este eje se observa a través de los espacios públicos y la movilidad cotidiana (Figura 5).



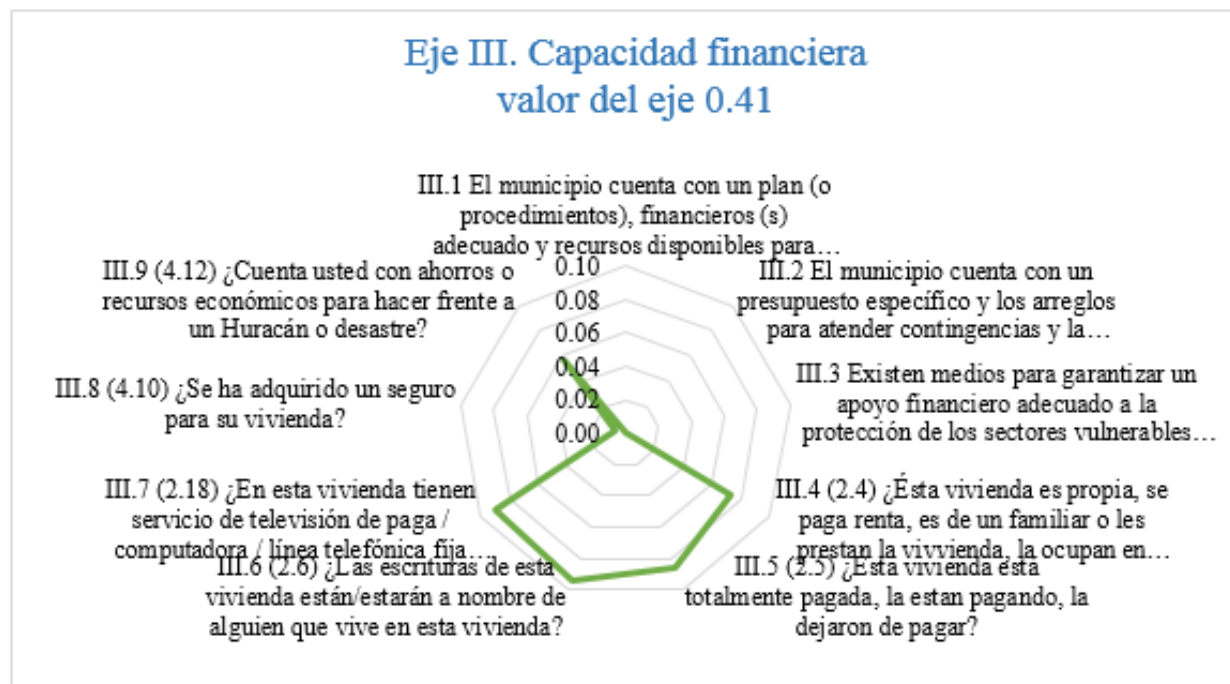


Figura 4. Grado de Resiliencia Eje III. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

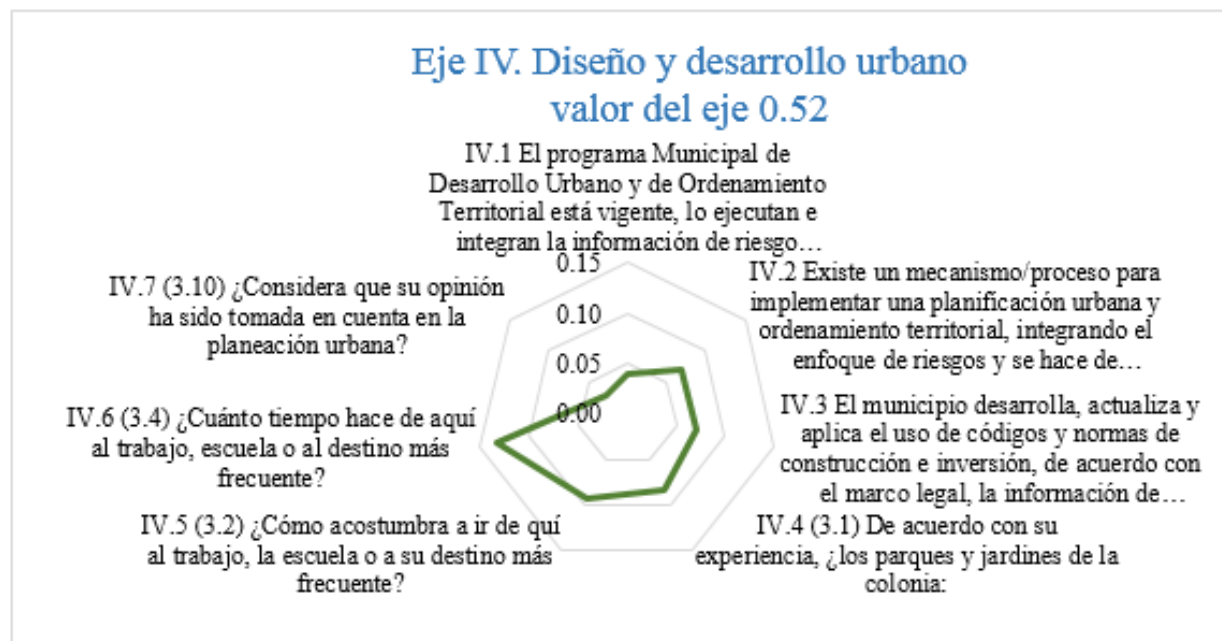


Figura 5. Grado de Resiliencia Eje IV. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.



Eje V. Ambiental: el eje ambiental es uno de los que tuvieron los mejores resultados en los indicadores (Figura 6), sin embargo, es posible identificar áreas de oportunidad en el tratamiento de residuos sólidos en la isla, además de la protección, restauración y difusión de los ecosistemas, así como la divulgación de las áreas naturales protegidas.

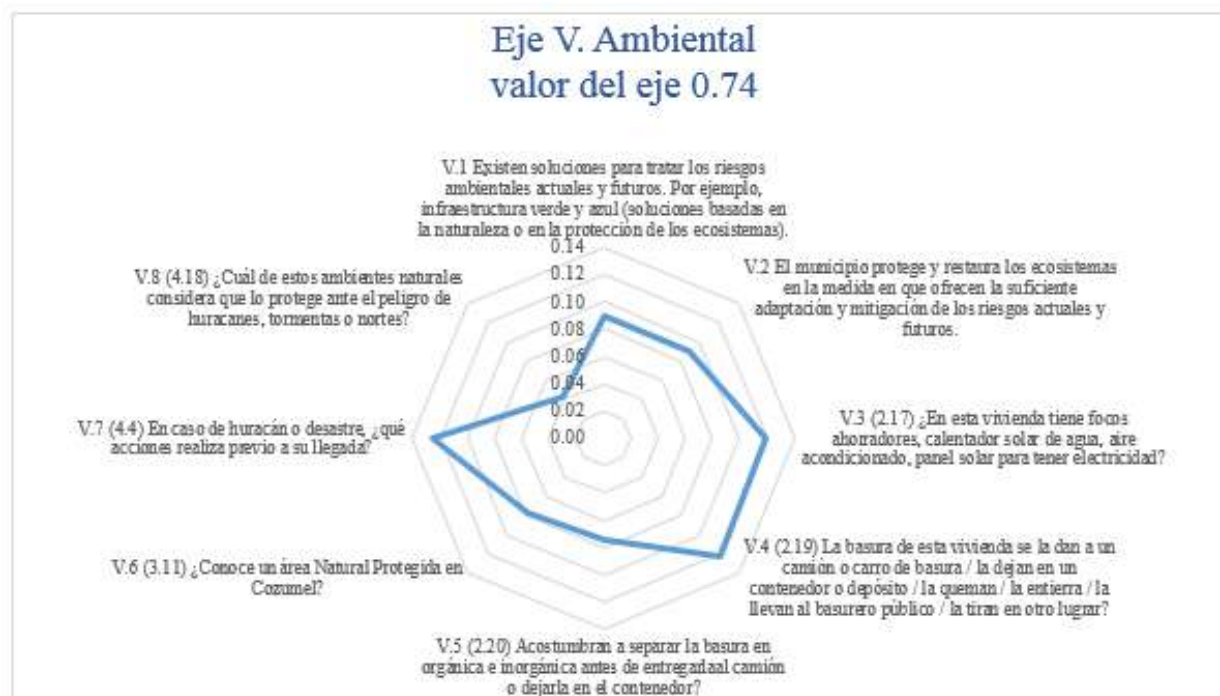


Figura 6. Grado de Resiliencia Eje V. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

Eje VI. Capacidad institucional para la resiliencia: la capacidad institucional es uno de los ejes más débiles en la construcción de resiliencia urbana (Figura 7), esto porque no se identificaron los procedimientos adecuados que incorporan este enfoque al desempeño institucional, aunque es de destacar la fuerte vinculación entre los diferentes actores locales que pueden potenciar alianzas a fin de subsanar las carencias observadas.



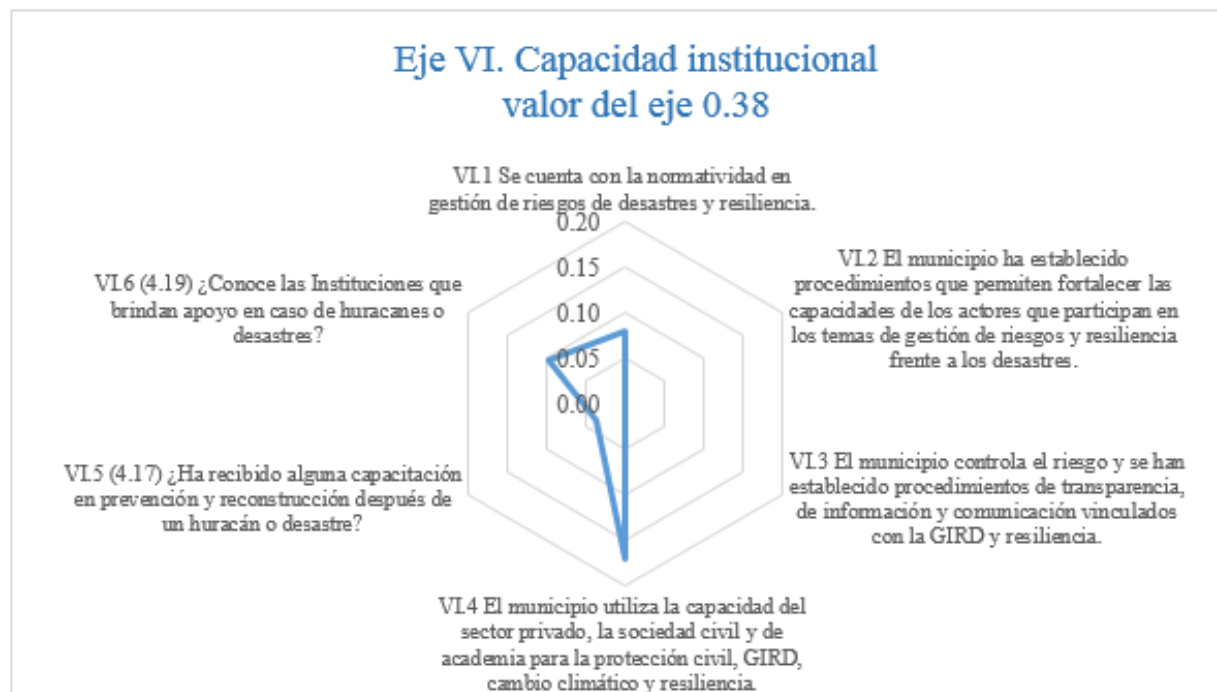


Figura 7. Grado de Resiliencia Eje VI. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

Eje VII. Capacidad social para la resiliencia: el eje de capacidad social para la resiliencia presenta dos panoramas contradictorios. Se encontró una debilidad desde las instituciones encargadas de promover la cohesión social (Figura 8), sin embargo, desde la propia comunidad se encuentra una fortaleza para hacer frente a los eventos de crisis, lo cual debe ser aprovechado para potenciar la capacidad social de la isla.

Eje VIII. Infraestructura: de manera similar al eje de capacidad social, el eje de infraestructura tiene dos panoramas distintos: A nivel institucional se encuentran áreas de oportunidad para la instalación de infraestructura relacionada con la resiliencia, aunque en términos de infraestructura básica de las viviendas y en la ciudad en general, se encontró una alta capacidad instalada (Figura 9).



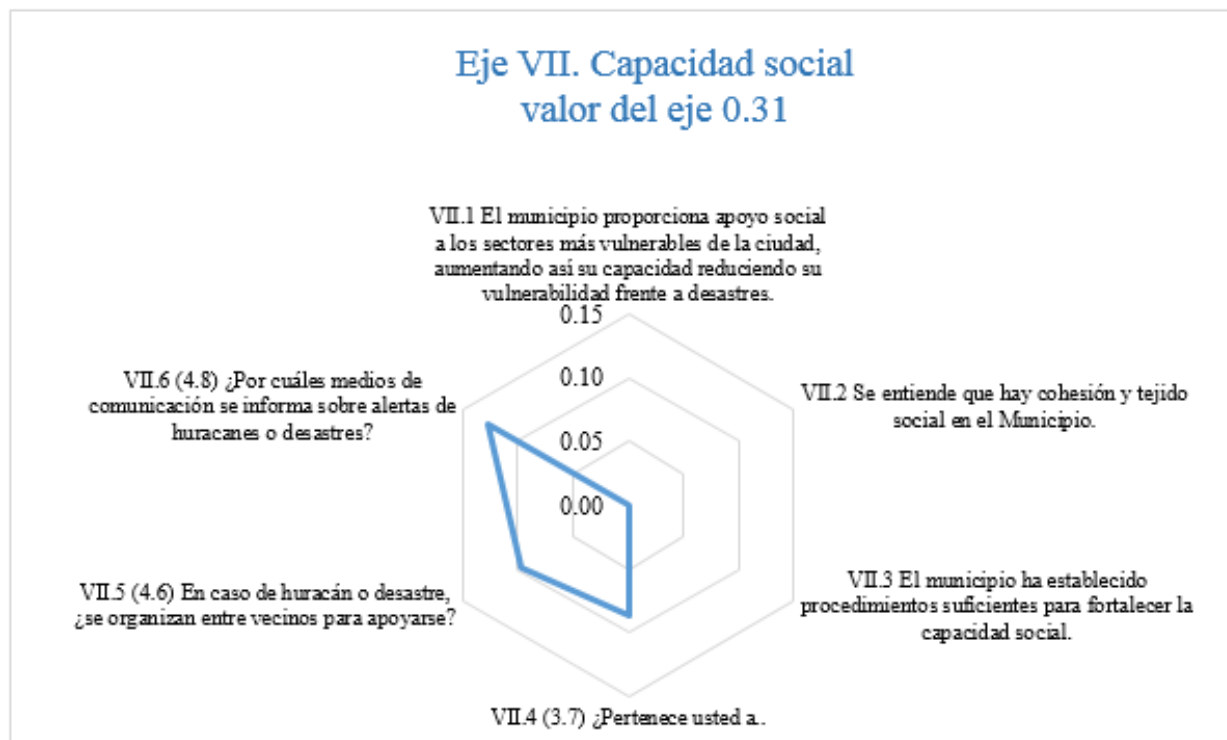


Figura 8. Grado de Resiliencia Eje VII. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

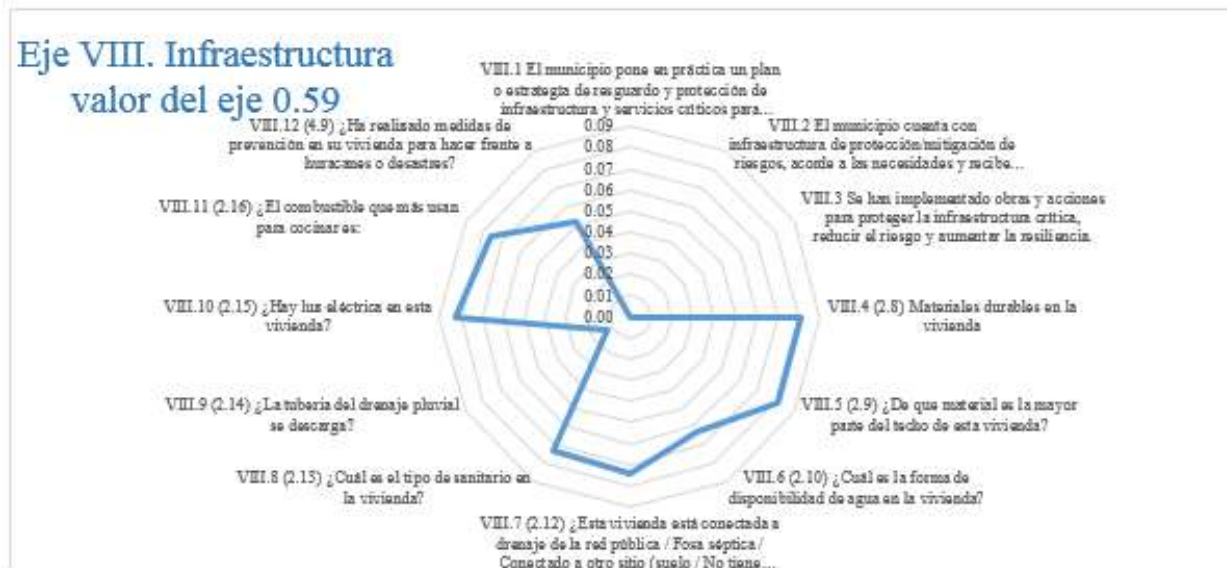


Figura 9. Grado de Resiliencia Eje VIII. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.



Eje IX. Respuesta adecuada y efectiva: la capacidad institucional para una respuesta adecuada y efectiva ante eventos de riesgo es media (Figura 10), aunque es posible incrementarla con acciones relacionadas con la prevención, lo cual reduciría el riesgo en los grupos de población más vulnerables.

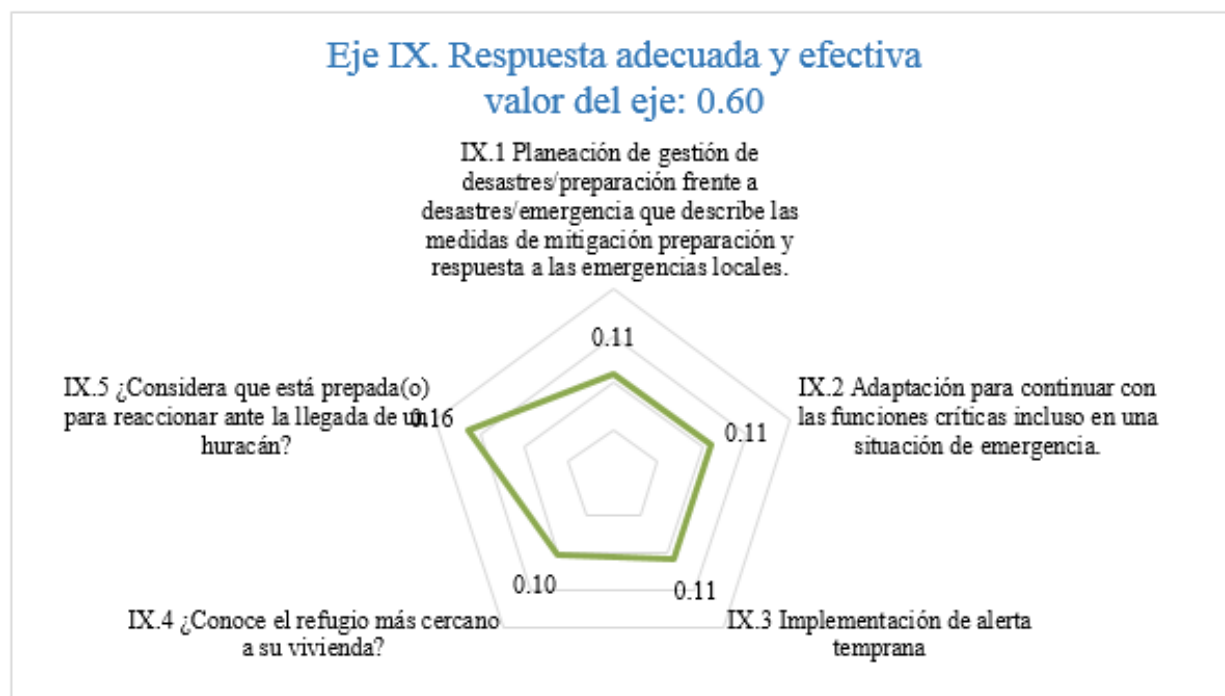


Figura 10. Grado de Resiliencia Eje IX. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

Eje X. Reconstrucción y recuperación: el eje de reconstrucción y recuperación tiene un gran capital social en la participación ciudadana altamente dispuesta a participar con acciones de recuperación, de lo que incluso hay mucha evidencia en los eventos que han marcado la historia de la isla (figura 11). Sin embargo, es necesario plantearse medidas para integrar mejor a la población y a los diferentes actores de la isla, sobre todo a aquellos que por fenómenos migratorios se integran de manera reciente a la sociedad cozumleña.



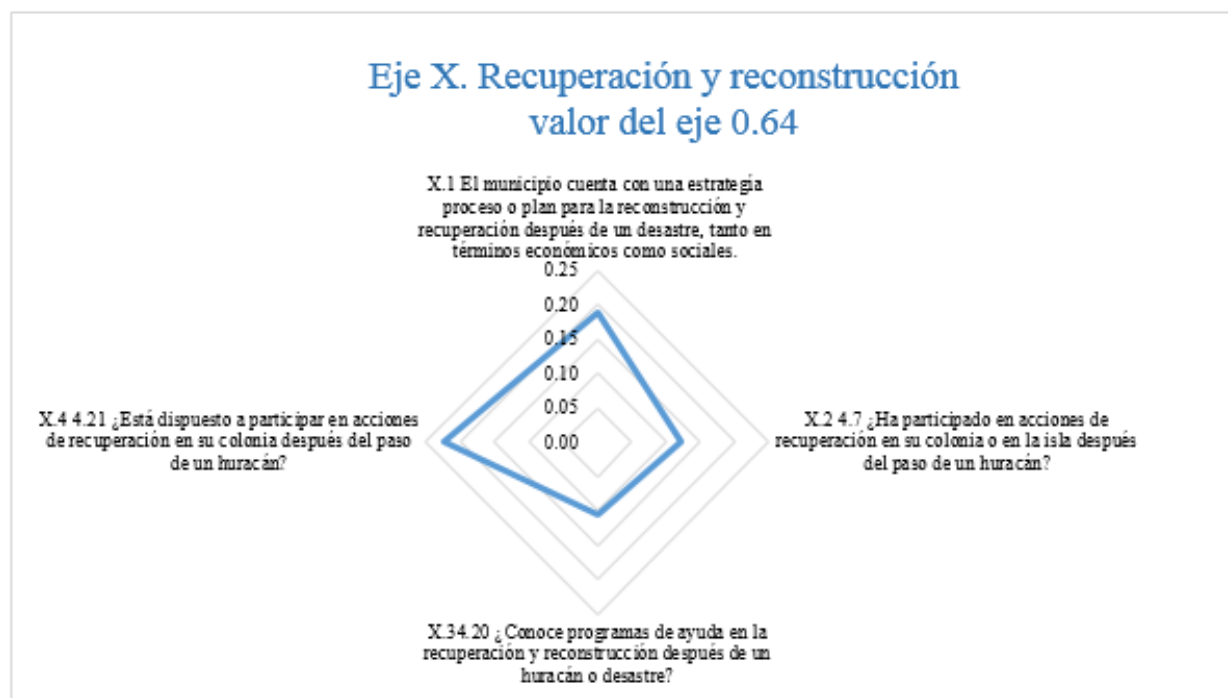


Figura 11. Grado de Resiliencia Eje X. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

Discusión y conclusión

El valor global del PRU se ubica en 5.18 en una escala del 0 al 10 (figura 12), lo que implica que la isla se encuentra en un nivel medio de resiliencia, con un número significativo de áreas de oportunidad que deberán configurar el plan de acción para que a partir de esta línea base se implementen estrategias y acciones encaminadas a mejorar el Perfil de Resiliencia Urbana de la isla.

En términos generales, el eje ambiental y el de recuperación y reconstrucción son los que mayor fortaleza presentan en la isla. Por consiguiente, las capacidades sociales, institucionales y organizativas son las que tienen más áreas de oportunidad. Con un horizonte al año 2030, se plantea el objetivo de reducir a la mitad la brecha entre el valor actual (5.18) y el valor óptimo (10.0), lo cual implica una meta de llegar al menos al 7.49 como valor global del índice. Para ello, se plantean metas intermedias al 2020 y al 2025, siendo estas del 5.43 y 6.46 respectivamente. Esto será posible a partir de una atención efectiva en el corto, mediano y largo plazo, incorporando la construcción de resiliencia urbana como un aspecto imprescindible tanto de la actividad gubernamental local como de la vida cotidiana de la población.



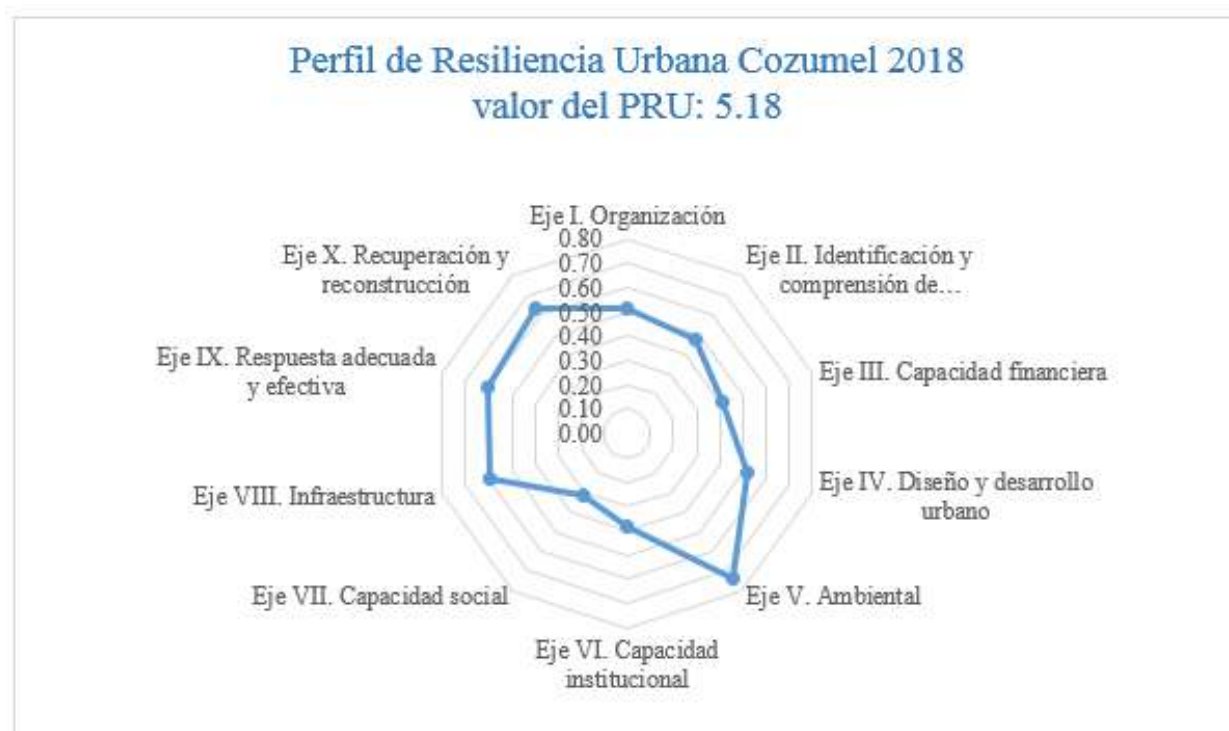


Gráfico 30: Grado de Resiliencia Cozumel. Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta a hogares 2018 y Entrevista estructurada a funcionarios del gobierno municipal 2018.

Teniendo como enfoque principal ser una herramienta de gobernanza con participación ciudadana y cálculo de indicadores, se deberá configurar el Plan de Acción para que a partir de esta línea base se implementen estrategias y acciones encaminadas a mejorar el Perfil de Resiliencia Urbana de la isla.

De los indicadores compuestos derivados de los diez ejes de acción evaluados se concluye que el valor global del PRUC se ubica en 5.18, en una escala del 0 al 10, lo que implica que la isla se encuentra en un nivel medio de resiliencia. Los indicadores utilizados tradicionalmente para realizar el Perfil de Resiliencia Urbana han sido seleccionados con base en los indicadores utilizados a nivel mundial e internacional por diferentes bases de datos de observadores urbanos e indicadores internacionales y la información local disponible para esta ciudad. Este trabajo conjuga la visión local, al integrar 38 indicadores con información actualizada derivado de una encuesta representativa a la población, donde se hace necesario realizar un análisis de correlación para mejorar las metodologías propuestas basadas en indicadores simples y compuestos.

En este trabajo el método para la construcción de indicadores se basó en la investigación realizada por Hernández *et al.*, (2018) donde se señaló que la asignación de ponderaciones a subindicadores comúnmente se establece a juicio personal (método participativo), aunado a pesos relativos según las opiniones de los expertos locales para apoyar la toma de decisiones a través de la priorización de las necesidades, ya que la vulnerabilidad, el riesgo y la resiliencia tiene distintos resultados espaciales y varían con el tiempo. ☯



Agradecimiento

Este proyecto se desarrolla con el financiamiento del H. Ayuntamiento de Cozumel 2016 – 2018 y la colaboración de varios miembros de la REDESCLIM – CONACYT. Se agradece en especial el apoyo de los monitores de resiliencia urbana de la isla de Cozumel y a los gestores municipales de resiliencia urbana ante desastres 2018.

Referencias

- Birkmann, J., Wisner, B., (2006). “Measuring the un-measurable. The challenge of vulnerability”. *Source*, Núm. 5. United Nations University—Institute for Environment and Human Security, Bonn. Recuperado de <http://www.ehs.unu.edu/file.php?id=212S>
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION (2014). Ley General de Protección Civil. Gobierno Federal. Recuperado de http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/Programa_Interno.pdf
- Encuesta a hogares 2018. Perfil de resiliencia urbana de la isla de Cozumel.* Universidad de Quintana Roo, México.
- ESTRADA DÍAZ, G. (2014). “Puesta en práctica de una política de desastres: los instrumentos de la gestión de riesgos en México”. En: *Bulletin de l’Institut français d’études*. Recuperado de <http://bifea.revues.org/5984>; DOI: 10.4000/bifea.5984
- FRAUSTO, O. (2018). *Perfil de resiliencia urbana de la isla de Cozumel*. Informe técnico, Universidad de Quintana Roo, México.
- FRAUSTO, O., et al. (2018). “Herramientas para el desarrollo de indicadores de resiliencia urbana costera ante huracanes”. En: Velazquez, et al. *Resiliencia en ciudades costeras del caribe mexicano*. Universidad de Quintana Roo – CONACYT: México.
- HERNÁNDEZ, M.L y L. Castillo (2018). Methodologies and tools of Risk Management: Hurricane Risk Index (HRi). En: *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.08.006>
- ICLEI, INECC. (2012-2013). *Guía para Plan de Acción Climática Municipal*.
- INEGI – GQROO (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2016*. Instituto nacional de estadística y geografía y Gobierno de Quintana Roo. 2016. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2016/702825084370.pdf
- INEGI (2018). *Encuesta intercensal 2015*. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/poblacion/>
- LAVELL, A. (2003). *La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. CEPREDENAC-PNUD.



- NOAA (2016). *NHC Data Base. National Oceanic and atmospheric administration*. USA. Recuperado de <https://www.nhc.noaa.gov/data/>
- ONU-HABITAT. (22 de 04 de 2016). *ONU - HABITAT. Por un mejor futuro urbano*. Recuperado de <http://es.unhabitat.org/sobre-nosotros/al-alcance/>
- SEDATU (2016). *Guía de Resiliencia Urbana 2016*. México.
- SEDATU-ONU HABITAT. (2016). “Las dimensiones de la resiliencia: Modelo del sistema urbano”. En: *Guía de Resiliencia Urbana 2016*. México.
- SEDESOL E INSTITUTO MUNICIPAL DE INVESTIGACIÓN Y PLANEACIÓN (2010). *Atlas de Riesgos de Cd. Juárez, Chihuahua*. Actualización 2010.
- SUBCOMMITTEE ON DISASTER REDUCTION (SDR) (2005). *Grand Challenges for Disaster Reduction*. Washington D.C.: National Science and Technology Council.
- WAMSLER, C. (2014). *CITIES, DISASTER RISK AND ADAPTATION*. London: Routledge.
- YAMAGATA, Y., A. SHARIFI (2018). *Resilience oriented urban planning: theoretical and empirical insights*. Springer, Suiza.

Contacto:

Dr. Oscar Frausto Martínez <ofrausto@uqroo.edu.mx>





Investigación de las relaciones entre variabilidad climática y enfermedades transmitidas por vector en el Estado de Veracruz

Investigation of the relationships between climatic variability and vector-borne diseases in the State of Veracruz

Sayli Sagrario Ybañez Hernández - Jorge Luis Vázquez Aguirre - Oscar Sánchez Martínez

Universidad Veracruzana

Recibido: 14 de mayo de 2018.

Aprobado: 10 de julio de 2018.

Resumen:

En este trabajo se adaptó la información del clima observado para poder analizarlo y compararlo con la información epidemiológica al nivel de las jurisdicciones sanitarias en el estado de Veracruz. Aplicando métodos estadísticos simples se exploró la posible existencia de relaciones entre temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación con las tasas de dengue en el periodo 2006 al 2016.

Aunque se lograron identificar algunas características en la periodicidad y persistencia de la incidencia del dengue, con similitudes a los patrones climáticos, estadísticamente no se encontraron relaciones significativas entre clima y epidemiología en este estudio, debido quizás, a la agregación de los datos epidemiológicos en la escala mensual. No obstante, se identificaron oportunidades para estudios más profundos a partir de datos con mayor resolución.

Palabras clave: Variabilidad Climática, dengue, jurisdicciones sanitarias, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, ONI.

Abstract:

In this work, the observed climate information was adapted to be analyzed and compared with epidemiological information at the level of health jurisdictions, in the state of Veracruz. Applying simple statistical methods, the possible existence of relationships between maximum temperature, minimum temperature and precipitation with dengue rates was explored in the period 2006 to 2016. Although some characteristics were identified about the periodicity and persistence of the incidence of dengue, with similarities to the weather patterns, statistically no significant relationships were found between climate and epidemiology in this study, perhaps due to the aggregation of the epidemiological data on the monthly scale. However, opportunities for deeper studies were identified from data with higher resolution.

Key Words: Climate Variability, Dengue, Sanitary Jurisdictions, Maximum Temperature, Minimum Temperature, Precipitation, ONI.

Trabajo presentado en la 6ta reunión nacional de la Red de desastres asociados a fenómenos Hidrometeorológico y climáticos (REDESClim)

Llevada a cabo en el parque biotecnológico UAQ y Hotel Holiday Inn

Fecha del 5 al 7 de Septiembre de 2018



Introducción

Durante los últimos 50 años la actividad humana, en particular, el consumo de combustibles fósiles ha liberado a la atmósfera grandes cantidades de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero suficientes para retener más calor en las capas inferiores de la atmósfera y alterar el clima mundial (IPCC, 2014; WHO, 2012: 5).

Las proyecciones de cambio climático consideran, en su mayoría, escenarios en el futuro lejano; pero es en la variabilidad del clima presente donde la detección del cambio climático ocurrirá en forma progresiva (IPCC, 2014). Dado que la variabilidad y el cambio climático influyen en el ámbito social y medioambiental de forma determinante, las relaciones del clima con sectores específicos deben identificarse y evaluar sus impactos en sectores como: salud, producción de alimentos y asentamientos humanos, entre otros (Cavazos, 2015).

Con relación a la salud humana, la variabilidad climática puede influir en diversas formas, por ejemplo, en la modificación y aumento de ciertas enfermedades infecciosas, entre las que se destacan las enfermedades transmitidas por mosquitos, también llamados *vectores* (IPCC, 2014). Diversos estudios indican que ciertas condiciones climáticas pueden aumentar la longevidad y la reproducción de algunos vectores, reflejando un aumento en la frecuencia de piquetes y alterando sus rangos de distribución (WHO, 2012: 11).

Para resaltar la importancia de la relación que existe entre la variabilidad climática y los vectores basta mencionar que, en el mundo se registran cada año más de 1000 millones de casos de transmisión y más de 1 millón de defunciones como consecuencia de enfermedades transmitidas por vectores. Tales como: paludismo, chagas, fiebre amarilla y dengue (WHO, 2016). Esta última es el tema principal de esta investigación.

Dado que, la OMS (Organización Mundial de la Salud) ha colocado a México como el quinto lugar de incidencia en dengue de América Latina, esta enfermedad se ha vuelto una prioridad para la salud pública debido a sus efectos sociales y económicos en grandes grupos de población, en los cuales, la adaptación del sector salud ante el cambio climático puede incluir el uso de información sobre el tema para poner en marcha sistemas de alerta temprana para anticipar la aparición de brotes (COFEPRIS, 2012: 34).

Reportes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) revelan que las enfermedades transmitidas por vector, incluyendo el dengue, son extremadamente sensibles a los cambios en la humedad, temperatura (máxima y mínima) y patrones de precipitación, variables que han sido consideradas generalmente en las investigaciones sobre variabilidad y cambio climático y sus impactos en la salud humana (COFEPRIS, 2012: 35).

El dengue ha sido relacionado también con el fenómeno de El Niño. Algunos autores han formulado una hipótesis sobre la temperatura del mar anómalamente elevada que podría estar asociada al aumento en los casos de dengue. Tal como mencionan Gagnon *et al.*, (2001) quienes encontraron un mayor riesgo de brote de epidemias de dengue durante la fase de cálida de ENSO



en Colombia e Indonesia (Hurtado-Díaz *et al.*, 2007: 1333). Así como a la contribución de la epidemia del mosquito *Aedes* que generó un brote de zika en Brasil en el año 2015 (Paz y Semenza, 2016). Para México, Colon-González *et al.*, (2011: 760) encontraron que la tasa de incidencia de dengue es mayor durante los eventos de El Niño.

Marco conceptual

En relación con la salud humana, la variabilidad climática puede influir en diversas formas, por ejemplo, en la modificación y aumento de ciertas enfermedades infecciosas, siendo de las más importantes las enfermedades transmitidas por vectores (WHO, 2012). Reportes de la OMS revelan que estos padecimientos son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura o de los patrones de precipitación y humedad. Se ha documentado que, entre otros factores, la variabilidad climática aumenta la longevidad y la reproducción de algunos insectos (vectores), hecho que se refleja al aumentar la frecuencia de piquetes y también, en la alteración de los rangos de distribución, con el respectivo aumento en la población infectada (WHO, 2012).

Debe notarse que la variabilidad climática se manifiesta a través de cambios en la ocurrencia de los sistemas meteorológicos, los cuales están asociados a factores y moduladores climáticos en distintas escalas, tales como: los monzones, la Zona de Convergencia Intertropical, el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur y la Oscilación del Atlántico Norte, entre otros (Barradas y Tejeda, 2010). Es un hecho que, los cambios en la variabilidad climática se reflejarán en cambios en la magnitud y distribución de sus impactos regionales (IPCC, 2014).

La NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)¹ define los fenómenos de El Niño (fase cálida) y La Niña (fase fría) como un patrón climático del comportamiento de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical. Este sistema está acoplado con una oscilación en la presión atmosférica llamada la Oscilación del Sur, por lo que el evento en su conjunto es denominado El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El patrón puede presentarse de forma irregular en periodos de dos a siete años y cada fase desencadena cambios en la temperatura, la precipitación y los vientos. Estas alteraciones interrumpen los movimientos del aire en los trópicos, desencadenando una cascada de efectos secundarios globales en el clima de todo el planeta (NOAA, 2016). Al alterarse el clima global es plausible que la presencia del fenómeno puede impactar en la incidencia de enfermedades como el dengue, aunque esto debe probarse.

Por otra parte, en cuanto a los aspectos relacionados con el dengue, los vectores están definidos como organismos vivos que pueden transmitir enfermedades infecciosas entre personas, o bien, de animales a personas. Muchos de estos son insectos hematófagos que ingieren los microorganismos patógenos junto con la sangre de un portador infectado (persona o animal) y posteriormente los inyectan a un nuevo portador al ingerir su sangre (WHO, 2016).

En el caso específico del dengue, el vector transmisor es el mosquito de la especie *Aedes aegypti*, que está presente en las áreas tropicales o subtropicales, comprendidas entre los 45° de

1 N. del E.: por sus siglas en inglés: National Oceanic and Atmospheric Administration.



latitud norte y 35° de latitud sur, en las isotermas intermedias a los 20° C, mostrando preferencia por los climas entre 15 y 40° C, con niveles de precipitación normales a altos. Las condiciones ideales para su desarrollo y nutrición son temperaturas de 25° a 29° constantes en un periodo de 5 a 7 días, siendo incapaz de resistir temperaturas inferiores a 10°C o superiores a 44 o 46° C (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, s.f.).

La actividad de picadura muestra dos periodos de mayor actividad: uno al amanecer (6:00 a 8:00 hrs.) y antes del anochecer (17:00 a 19:00 hrs.), sin embargo, la alimentación puede estar condicionada a la posibilidad de obtener sangre de los habitantes de las casas, pudiendo modificar su actividad y picar a cualquier hora (Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades, 2014).

Según Riojas *et al.*, (2006) en los últimos años se ha observado en México un aumento de las temperaturas en los estados endémicos de dicha enfermedad en correspondencia con un aumento en la circulación del virus del dengue. Estos autores concluyen que, aunque la temperatura no es la principal causa, sí es un elemento determinante en el desarrollo del dengue en México. También, otros factores, además de la variabilidad climática, que pueden influir en el comportamiento de las enfermedades incluyen aspectos como: aumento en la densidad poblacional, urbanización descontrolada, condiciones de vivienda, insuficiencia de servicios básicos como agua potable, salud y saneamiento (COFEPRIS, 2012).

Debe notarse que la variabilidad climática no es la única o principal causa moduladora de las enfermedades transmitidas por vector, ya que un papel muy importante lo tienen las actividades humanas como el comercio y sus desplazamientos asociados, la urbanización no planificada, la vivienda inadecuada, el mal suministro de agua y los problemas medioambientales; aspectos que contribuyen colectivamente al aumento del riesgo de brotes de enfermedades transmitidas por vector (Lozano-Fuentes *et al.*, 2012).

Sin embargo, pese a no ser el único factor modulador de las enfermedades transmitidas por vector (ETVs), se ha demostrado que las variaciones del clima causarán modificaciones en la incidencia y propagación de las ETVs, siendo los más afectados la población vulnerable (niños, adultos mayores y personas de bajo nivel socioeconómico), aunque el impacto real dependerá de la adaptación de la sociedad y de la toma de decisiones orientadas a reducir las amenazas a la salud (Hurtado-Díaz *et al.*, 2007).

Abordando los diferentes estudios realizados en clima y salud, en la literatura se encuentran diversas metodologías propuestas para el estudio de las relaciones entre clima y salud. En el caso de México, se han realizado varias investigaciones, entre ellas las elaboradas por Riojas *et al.*, (2006, 2007) y Hurtado-Díaz *et al.*, (2007) por mencionar algunas.

Riojas *et al.*, (2006) realizaron los siguientes análisis para México: mediante gráficas de series de tiempo, inferencias estadísticas acerca del futuro de las variables en salud en relación con sucesos climáticos del pasado, mediante correlaciones de Pearson y modelos de regresión de



Poisson estimaron el porcentaje de cambio en los eventos en salud a causa del clima, incluyendo en su análisis las variables de temperatura máxima, mínima, precipitación y temperatura superficial del mar como indicador de ENOS (El Niño-Oscilación del Sur).

Además, Riojas *et al.*, (2007) para establecer la relación entre clima y salud analizaron la variación y estacionalidad de las variables casos semanales de dengue: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y temperatura superficial del mar. Estas investigaciones se realizaron solo para la zona sur de Veracruz con datos epidemiológicos de 1995 al 2007. Posteriormente, para establecer una posible relación entre las variables calcularon coeficientes de correlación entre todas las series, ajustaron modelos binomiales negativos y modelos autorregresivos integrados de medias móviles (ARIMA, por sus siglas en inglés), todo esto utilizando diferentes rezagos de tiempo de los casos de dengue con relación a las variables climáticas.

Hurtado-Díaz *et al.*, (2007), para los municipios de San Andrés Tuxtla y Veracruz de 1995 a 2003 analizaron los casos semanales de dengue, temperatura máxima, mínima, precipitación y temperatura superficial del mar; y para establecer una relación entre dichas variables calcularon coeficientes de correlación cruzada entre las series autorreguladas de dengue y cada una de las variables independientes.

En esta investigación se emplearon los siguientes métodos para establecer una posible relación entre clima y salud: función de correlación para explorar la persistencia temporal en las tasas de dengue, correlación de Pearson en fase y con desfases para explorar las posibles relaciones entre variables climatológicas y dengue y debido a lo corto de las series de tiempo la exploración de una posible relación entre el dengue y ENOS se llevó a cabo mediante análisis gráfico.

Método y técnicas de trabajo

La región geográfica utilizada para para la presente investigación fue el estado de Veracruz, el cual se encuentra ligado fuertemente a la disponibilidad de datos epidemiológicos, por lo que, la exploración de las relaciones estadísticas entre clima y salud se diseñó por unidades geográficas denominadas ‘jurisdicciones sanitarias’, las cuales son: Pánuco, Tuxpan, Poza Rica, Martínez de la Torre, Xalapa, Córdoba, Orizaba, Veracruz, Cosamaloapan, San Andrés Tuxtla y Coatzacoalcos (figura 1).



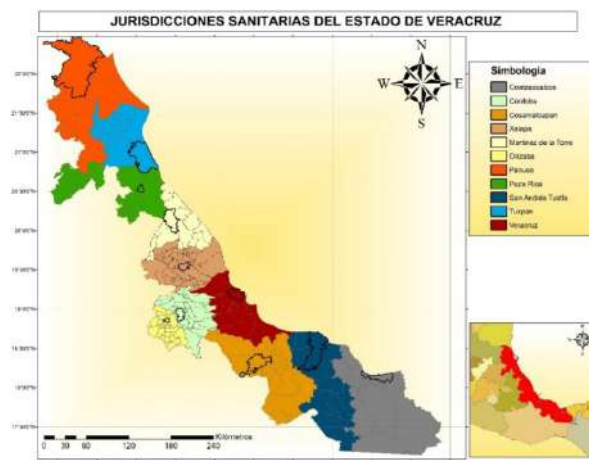


Figura 1. Distribución de las 11 Jurisdicciones Sanitarias sobre el estado de Veracruz en sus respectivas cabeceras, Pánuco, Tuxpan, Poza Rica, Martínez de la Torre, Xalapa, Orizaba, Córdoba, Veracruz, Cosamaloapan, San Andrés Tuxtla y Coatzacoalcos. (Sosa, 2018).

Los datos epidemiológicos de este estudio fueron proporcionados por el departamento de epidemiología de la Secretaría de Salud del Estado de Veracruz, los cuales consisten en tasas mensuales de incidencia de dengue concentrados para cada jurisdicción sanitaria del estado de Veracruz para el periodo 2006 al 2016 a escala mensual, características a las que los datos climáticos fueron adaptados a dicho periodo.

Es oportuno aclarar que la tasa es una de las medidas más utilizadas dentro de los estudios epidemiológicos, la cual de acuerdo con Moreno-Altamirano (2000), define la magnitud del cambio de una variable (enfermedad o muerte) por unidad de cambio de otra (usualmente el tiempo) en relación con el tamaño de la población que se encuentra en riesgo de experimentar el suceso. El cálculo de tasas se realiza dividiendo el total de eventos ocurridos en un periodo dado entre la población.

Cabe mencionar que el registro de casos nuevos de enfermedades llevados a cabo en cada unidad médica, pasan por diversos procesos antes de ser publicados en los boletines de epidemiología a nivel nacional, ya que después de su registro son validados en cada jurisdicción sanitaria. Para el caso específico de las enfermedades con requerimiento de prueba confirmatoria, como es el caso del dengue, estas pueden presentar incertidumbre en cuanto al número real de nuevos casos, pues la información procesada inicialmente en las clínicas puede modificarse una vez transcurrida la validación. Por lo anterior, en los estudios de clima y dengue, es recomendable utilizar la información obtenida directamente de los departamentos de vigilancia epidemiológica en vez de utilizar otros sistemas de registro de datos epidemiológicos (SESVER, 2018).

En cuanto a los datos climatológicos, según Vázquez *et al.*, (2008) para México se encuentran disponibles varias bases de datos, a las cuales en su mayoría aún no se han aplicado procesos de control de calidad, homogeneidad y análisis espaciotemporal para mejorar los datos con fines de investigación. Estas bases de datos incluyen la climatológica nacional del sistema CLICOM,



la base de datos en tiempo real del Sistema de Información Hidrológica, y otras bases de datos de redes individuales de otras instituciones y proyectos de investigación.

La base de datos del clima con carácter oficial en el país es la operada en el SMN (Servicio Meteorológico Nacional) en el sistema CLIMAComputarizado (CLICOM), la cual contiene información registrada a partir de la red nacional de estaciones climatológicas convencionales (Vázquez *et al.*, 2008). Los datos se encuentran disponibles para las variables de precipitación y temperatura máxima y mínima con mediciones diarias, algunos casos disponibles desde 1950 hasta la fecha. Esta base de datos cuenta con periodos faltantes de mediciones que son variables entre los distintos sitios de observación y presentan generalmente un retraso en cuanto a datos actualizados hasta la última agenda, además de datos faltantes y valores sospechosos susceptibles de ser errores de registro.

A partir de la problemática de esta base de datos, que es la que mayor cobertura espacial tiene a escala regional, y que tiene periodos de información faltante, valores extraños, ausencia de control de calidad y falta de actualización variada entre los sitios de medición. Para esto, Sánchez *et al.*, (2017) proponen el uso de los datos a partir de campos en mallas regulares, los cuales fueron sometidas a diversos filtros y análisis de calidad por dichos autores para facilitar su uso y aplicación en estudios que relacionan el clima con los sectores socioeconómicos.

En este estudio se utilizó la desarrollada por Sánchez *et al.*, (2017) presentada en la V Reunión Anual de la Red de Desastres de Origen Hidrometeorológico y Climático (REDESClim), la cual contiene datos diarios, mensuales y anuales de las variables precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para el periodo de 1950 al 2017, a una resolución espacial de ~50 km ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) con cobertura nacional. La información de esta base de datos corresponde a valores interpolados a malla regular a partir de la información histórica y de la del de CLICOM y del Sistema de Información Hidrológica (SIH), incluyendo algunos criterios de control de calidad y selección de las observaciones de mayor calidad (Sánchez *et al.*, 2017).

Posteriormente se identificaron los puntos de malla dentro cada una de las once jurisdicciones sanitarias (tabla 1) y se integraron series climáticas regionales por jurisdicción, las cuales fueron validadas comparándolas con datos de las estaciones cercanas, obtenidos de la base de datos CLICOM. Este tipo de comparaciones fueron realizadas para el periodo de mayo a octubre, por ser la época del año con mayores variaciones de lluvia y temperatura (Tejeda-Martínez *et al.*, 2005).

Cabe mencionar que, debido a la disponibilidad de los datos epidemiológicos (tasas a escala mensual y por jurisdicción sanitaria) se procedió a conformar una base de información climatológica a partir de los datos disponibles a escala diaria en la malla de Sánchez *et al.*, (2017). Tomando datos de las variables climatológicas (precipitación, temperatura máxima y mínima) de los puntos de malla representativos de cada jurisdicción sanitaria, transformándolos en series regionales mensuales por jurisdicción sanitaria para realizar los análisis estadísticos exploratorios correspondientes de las relaciones entre temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y las tasas de dengue.



Tabla 1. Distribución de los puntos de malla respecto a las 11 jurisdicciones sanitarias de Veracruz.

Jurisdicción sanitaria	Coordenadas del punto de malla
Pánuco	22°00'N 98°00'W, 22°00'N 98°30'W, 21°30'N 98°00'W y 21°30'N 98°30'W
Tuxpan	21°00'N 97°30'W y 21°30'N 97°30'W
Poza Rica	20°30'N 97°30'W y 20°30'N 98°30'W
Martínez de la Torre	20°00'N 97°00'W, 20°30'N 97°00'W y 20°00'N 96°30'W
Xalapa	19°30'N 96°30'W y 19°30'N 97°00'W
Córdoba	19°00'N 97°00'W y 19°00'N 96°30'W
Orizaba	18°30'W 97°00'N
Veracruz	19°00'N 96°00'W
Cosamaloapan	18°00'N 95°30'W, 18°30'N 95°30'W, 18°30'N 95°30'W, 18°30'N 96°00'W y 18°00'N 96°00'W
San Andrés Tuxtla	18°00'N 95°00'W, 18°30'N 95°00'W, 17°30'N 95°00'W y 18°30'N 95°30'W
Coatzacoalcos	18°00'N 94°30'W, 17°30'N 94°30'W, 17°30'N 94°00'W y 18°00'N 94°00'W

Para conformar la serie climática en los casos donde alguna jurisdicción sanitaria contemplara más de un punto de malla se procedió a realizar promedios para las variables de temperatura máxima y temperatura mínima, y precipitación. Una vez realizada la validación con base en la disponibilidad de los datos epidemiológicos (tasas a escala mensual y por jurisdicción sanitaria), se procedió a conformar una base de datos climatológico a partir de los datos disponibles a escala diaria en la malla de Sánchez *et al.*, (2017) y tomando datos de las variables climatológicas (precipitación, temperatura máxima y mínima) de los puntos de malla representativos de cada jurisdicción sanitaria, transformándolos en series regionales mensuales por jurisdicción sanitaria para realizar los análisis estadísticos exploratorios correspondientes de las relaciones entre temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y las tasas de dengue.

Además, para evaluar la relación entre las tasas de dengue y la variabilidad climática interanual, se utilizaron los datos del Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés) mantenido por la NOAA. El ONI es una métrica ampliamente utilizada como indicador de la presencia de El Niño y La Niña. Dichos datos consisten en anomalías basados en un umbral de ± 0.5 °C de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 (5° N – 5° S, 120° -170° W).



En esta investigación se emplean los siguientes métodos: función de correlación para explorar la persistencia temporal en las tasas de dengue, correlación de Pearson en fase y con desfases para explorar las posibles relaciones entre variables climatológicas y dengue. Debido a lo corto de las series de tiempo, la exploración de una posible relación entre dengue y ENOS se llevó a cabo mediante un análisis gráfico. Cada uno de estos métodos se describe a continuación.

La autocorrelación, de acuerdo con Wilks (2006), denota la correlación de una variable consigo misma, es decir, indica la correlación de una variable con su propio futuro. En este caso particular se espera que la autocorrelación permita identificar la persistencia temporal en las series mensuales de las tasas de dengue por jurisdicción sanitaria, lo que a su vez permitirá saber si es factible considerar a las variables climáticas como precursores del dengue con una antelación dada.

Posteriormente, se calculó el coeficiente de correlación lineal o coeficiente de correlación de Pearson. La correlación de Pearson, R , limitada en el intervalo cerrado $[-1,1]$, tal que si $R_{xy} = -1$, se tiene una asociación lineal inversa perfecta en las variables x y y ; y viceversa, si $R_{xy} = 1$, se tiene una asociación lineal directa positiva perfecta entre la variable dependiente y la independiente.

Además del análisis de persistencia de las variables mismas y del análisis de correlación lineal entre variables climáticas y de epidemiología, un tercer análisis exploratorio es el correspondiente a los cambios interanuales en las tasas de dengue y algún modulador climático interanual como ENOS.

Sin embargo, los datos epidemiológicos disponibles solo cubren un período de 11 años, por lo que la muestra es muy pequeña, lo cual implica que no se tienen datos suficientes para una correcta aplicación de la mayoría de las técnicas estadísticas propuestas por Riojas *et al.*, (2006). Por lo anterior, la exploración de las posibles influencias del ENOS en el dengue, se llevó a cabo mediante un análisis gráfico visual simple, en el que se comparó la presencia de El Niño y La Niña versus la tasa de dengue por jurisdicción sanitaria. Este tipo de análisis requirió la generación de una base de datos trimestral para cada variable, donde por convención se definieron los siguientes periodos: DEF (diciembre, enero y febrero), MAM (marzo, abril y mayo), JJA (junio, julio y agosto) y SON (septiembre, octubre y noviembre).

Resultados y discusión

Los datos en malla regular desarrollados por Sánchez *et al.*, (2017), se consideraron aptos para generar índices climáticos por jurisdicción sanitaria. La representatividad de estos índices originados a partir de la malla regular, con respecto a las observaciones reales, fue validada con el objeto de estimar su uso como representativos de los datos climáticos de temperatura máxima, mínima y precipitación en cada jurisdicción sanitaria.

El procedimiento para evaluar la representatividad de los datos consistió en ubicar los puntos de malla dentro de cada una de las jurisdicciones sanitarias de Veracruz y, a partir de estos, considerar la serie climática jurisdiccional. Esta serie se generó para el período mayo-octubre, por



ser los meses en los que ocurren las mayores tasas de dengue. Las series climáticas jurisdiccionales fueron entonces comparadas con cada uno de los datos observados en las estaciones climatológicas convencionales, dando una idea de qué tan bien los nodos de la malla representan la lluvia en el área de la jurisdicción. Las figuras 2 a la 4 muestran estas comparaciones. De manera complementaria, se calculó el coeficiente de correlación y se analizó la representatividad en función de la distancia nodo- estación. A continuación para ejemplificar se muestran las gráficas de tres jurisdicciones sanitarias.

Jurisdicción 1. Pánuco

El punto de malla con coordenadas 22°00'N, 98°00'W corresponde a la jurisdicción de Pánuco, en la cual solamente se encontró una estación climatológica. Se pueden observar valores de correlación altos entre el punto de malla y la estación para las tres variables de interés (Figura 2).

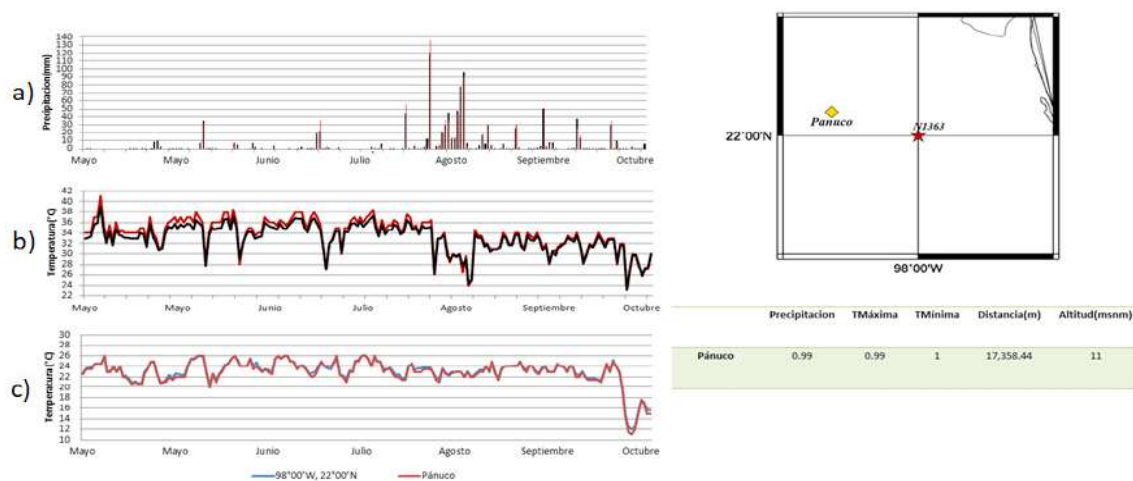


Figura 2. Valoración de los datos de la malla regular con los datos obtenidos de la estación para el punto de malla 98°00'W, 22°00'N de las variables a) precipitación (mm), b) temperatura máxima (°C) y c) temperatura mínima (°C), tabla con valores de correlación entre dichas variables, así como su ubicación geográfica en el mapa, altitud y distancia al punto de malla para la jurisdicción de Pánuco.

Jurisdicción 2. Tuxpan

Para el punto de malla con coordenadas 21°00'N, 97°30'W correspondiente a la jurisdicción de Tuxpan, no se encontró ninguna estación climatológica con datos disponibles, por lo cual solo se muestran los valores de la malla de las variables precipitación, temperatura máxima y mínima respectivamente para el mismo periodo (Figura 3). Para este caso se asume suficiente representatividad de la malla.



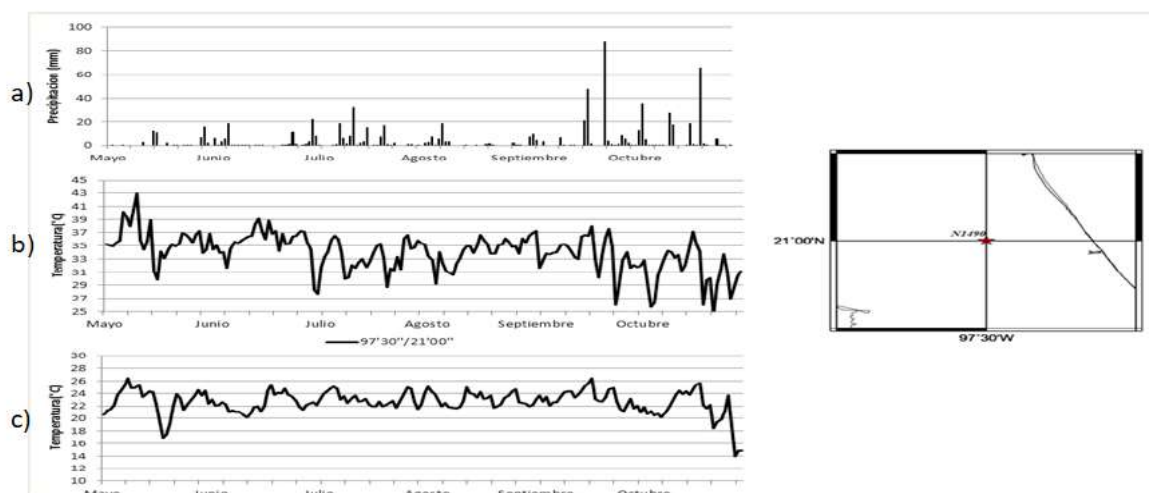


Figura 3. Gráficas de las variables a) precipitación (mm), b) temperatura máxima (°C) y c) temperatura mínima (°C) del punto de malla para la jurisdicción de Tuxpan.

Jurisdicción 9. Cosamaloapan

En el punto de malla con coordenadas 18°30'N, 95°30'W (Figura 4) correspondiente a la jurisdicción de Cosamaloapan, se comparó con cuatro estaciones respectivamente. Para este caso se puede observar cómo los valores en las correlaciones son altos.

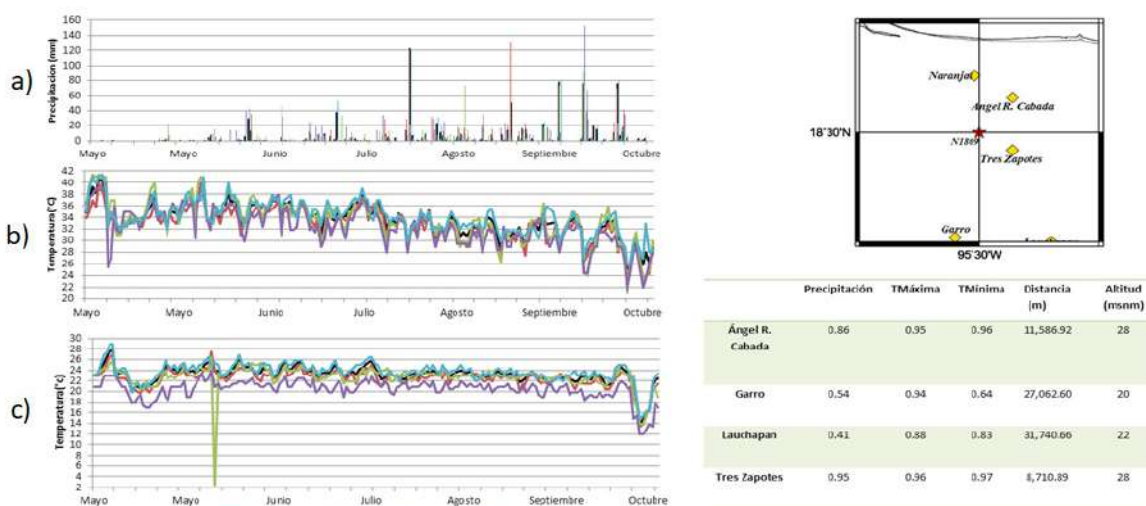


Figura 4. Valoración de los datos de la malla regular con los datos obtenidos de las estaciones para el punto 18°30'N, 95°30'W de las variables a) precipitación (mm), b) temperatura máxima (°C) y c) temperatura mínima (°C), tabla con valores de correlación entre dichas variables, así como su ubicación geográfica en el mapa, altitud y distancia al punto de malla para la jurisdicción de Cosamaloapan.



Con el fin de identificar la persistencia del dengue en cada jurisdicción sanitaria a lo largo del año, se calculó la función de autocorrelación de las series de tasa de dengue. Las gráficas de la función de autocorrelación permitieron determinar si una vez que ocurre el dengue, este se disipa en forma instantánea, o bien, permanece en tasas similares durante más de un mes. Esto permite, en caso de presentarse lo último, explorar si las variables climáticas pueden ser precursoras para la presencia de esta enfermedad. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de una de las once jurisdicciones sanitarias del estado de Veracruz.

De las gráficas de autocorrelación (figura 5) realizadas a partir de las series jurisdiccionales de las tasas mensuales de dengue (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) se concluye que para todos los casos el tiempo promedio de persistencia de la tasa de dengue es de dos meses, lo que consecuentemente permite explorar las correlaciones de las variables climáticas (como potenciales precursores del dengue) con un desfase (anticipación) de hasta dos meses.

Jurisdicción 1. Pánuco

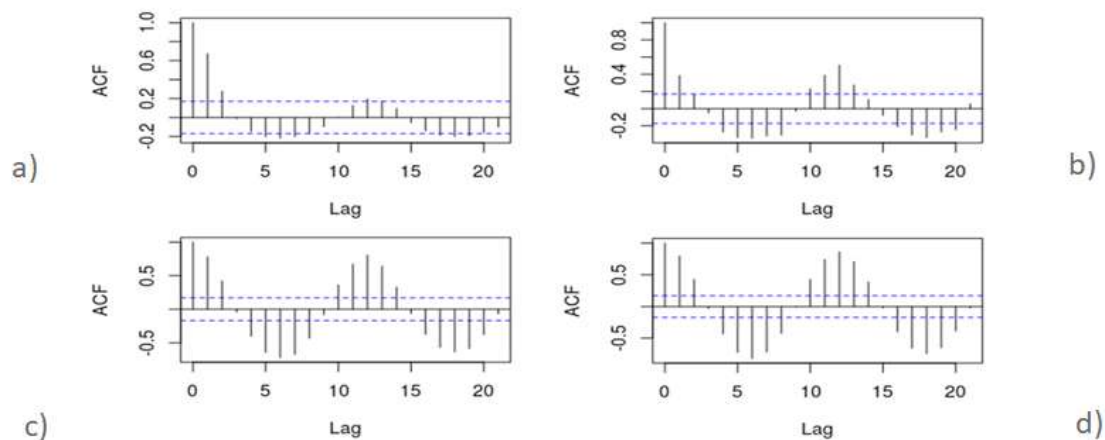


Figura 5. Función de autocorrelación de a) la tasa de dengue, así como de b) precipitación, c) temperatura máxima y d) temperatura mínima en la jurisdicción de Pánuco. La línea azul punteada indica el nivel de correlación de ± 0.2 .

Por otra parte, en las gráficas de autocorrelación se observa y verifica la presencia del ciclo anual en las variables climáticas, específicamente en el caso de la temperatura (máxima y mínima), donde con cada 6 meses de desfase en la autocorrelación se invierte el signo de esta, mostrando la oscilación entre los meses de invierno y verano.

Posteriormente, el análisis exploratorio de una posible relación entre las variables climáticas (independientes) como precursores de las epidemiológicas (dependientes) fue evaluado mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson en fase, con un desfase de uno y dos meses. También, se calcularon las correlaciones entre las tasas de dengue y el Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés).



A continuación se muestran los diez primeros valores de correlación en fase y desfase de las variables precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y ONI (tabla 2 a la 5).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de la tasa de dengue con la variable precipitación.

Lag	Precipitación	Jurisdicción
Desfase de 1 mes	0.5	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.46	Orizaba
Desfase de 1 mes	0.44	Poza Rica
Desfase de 2 meses	0.43	Córdoba
Desfase de 2 meses	0.42	Veracruz
Desfase de 1 mes	0.4	Pánuco
Desfase de 1 mes	0.4	Córdoba
Desfase de 1 mes	0.39	Orizaba
Desfase de 2 meses	0.38	Poza Rica
Sin desfase	0.38	Veracruz

Tabla 3. Coeficientes de correlación de la tasa de dengue con la variable temperatura máxima.

Lag	Temperatura máxima	Jurisdicción
Desfase de 2 meses	0.41	Pánuco
Desfase de 2 meses	0.41	Martínez de la Torre
Desfase de 2 meses	0.41	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.38	Tuxpan
Desfase de 2 meses	0.38	Cosamaloapan
Desfase de 2 meses	0.38	Coatzacoalcos
Desfase de 1 mes	0.37	Martínez de la Torre
Desfase de 1 mes	0.33	Pánuco
Desfase de 1 mes	0.32	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.32	San Andrés Tuxtla

Tabla 4. Coeficientes de correlación de la tasa de dengue con la variable temperatura mínima.

Lag	Temperatura mínima	Jurisdicción
Desfase de 2 meses	0.44	Pánuco
Desfase de 2 meses	0.44	Tuxpan
Desfase de 1 mes	0.43	Pánuco
Desfase de 2 meses	0.42	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.41	Cosamaloapan
Desfase de 1 mes	0.4	Tuxpan
Desfase de 2 meses	0.4	Xalapa
Desfase de 2 meses	0.38	Martínez de la Torre
Desfase de 1 mes	0.38	Cosamaloapan
Desfase de 2 meses	0.38	San Andrés Tuxtla



Tabla 5. Coeficientes de correlación de la tasa de dengue con el Índice Oceánico del Niño (ONI).

Lag	ONI	Jurisdicción
Sin desfase	0.23	Tuxpan
Desfase de 1 mes	0.21	Tuxpan
Desfase de 2 meses	0.18	Tuxpan
Sin desfase	0.18	Poza Rica
Desfase de 1 mes	0.17	Poza Rica
Sin desfase	0.16	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.15	Poza Rica
Desfase de 1 mes	0.14	Veracruz
Desfase de 2 meses	0.12	Veracruz
Sin desfase	0.12	San Andrés Tuxtla

En las tablas anteriores se observa que mediante la técnica de correlación de Pearson, tanto en fase como hasta dos meses de desfases, no se tiene evidencia suficiente de que existan relaciones robustas entre las variables del clima (precipitación y temperaturas) con las tasas de dengue en las jurisdicciones sanitarias de Veracruz, ya que no se encuentran valores altos de correlación, dando lugar a que las tasas de dengue puedan aumentar o disminuir únicamente en casos específicos.

Debe considerarse que al contar únicamente con 11 años de datos (del periodo 2006 al 2016), las técnicas estadísticas clásicas podrían no ser las más adecuadas para el análisis. Por lo anterior, y debido a los bajos coeficientes de correlación con ENOS, se tomó la decisión de realizar un análisis gráfico simple para comparar la ocurrencia de El Niño o La Niña con las tasas de dengue. Para esta exploración, se procedió a crear una nueva serie de tiempo trimestral de las tasas de dengue, donde se definieron los siguientes periodos correspondientes a los meses: DEF (diciembre, enero y febrero), MAM (marzo, abril y mayo), JJA (junio, julio y agosto) y SON (septiembre, octubre y noviembre), tanto para las variables climáticas como para las tasas de dengue.

La siguiente figura muestra el comportamiento de las variables en comparación con las fases del ENOS (El Niño o La Niña) observada en la jurisdicción de Coatzacoalcos.

Jurisdicción 11. Coatzacoalcos

En la jurisdicción de Coatzacoalcos (Figura 6) llaman la atención dos casos de las más altas tasas de dengue en la entidad federativa, pero que ocurren disímilmente en años de La Niña (2007) y de El Niño (2009), seguidos por una alta tasa de dengue en condiciones neutrales (2013). Por lo cual, no es posible inferir una influencia del ENOS en el dengue para tasas agregadas en la escala trimestral.

Figura 6. Gráfica de la serie de tiempo trimestral de tasa de dengue (barras) y ONI (líneas) en la jurisdicción de Coatzacoalcos. La línea indica el valor 0 del ONI y la línea punteada ± 0.5 .



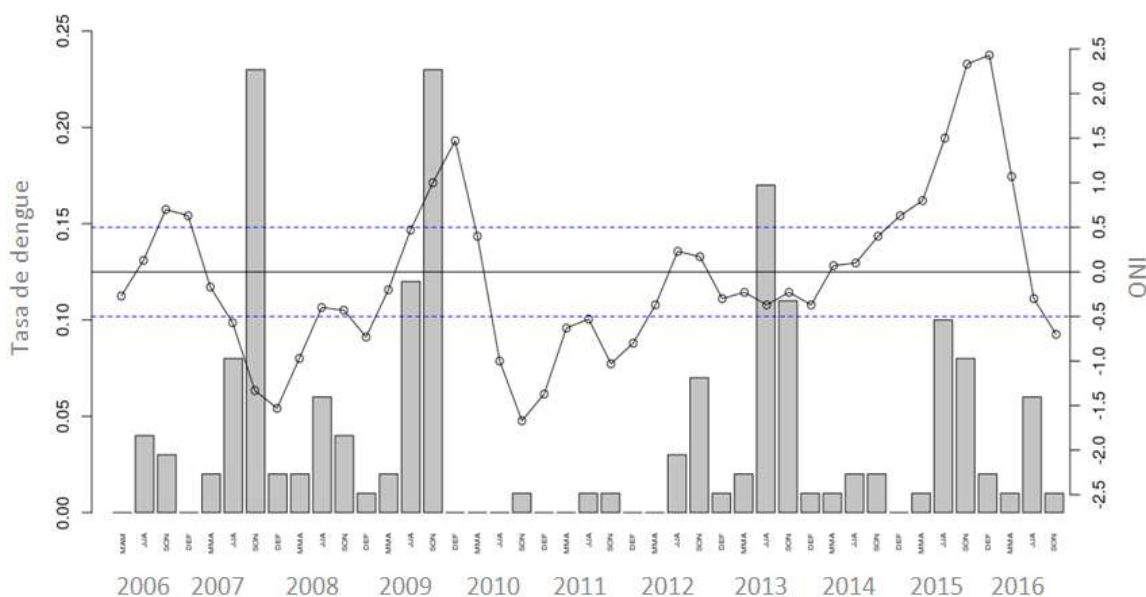
En resumen, el aumento en los casos de dengue coincide con las fases del ENOS en forma aislada, solo durante algunos años de la década analizada, pero no parece haber una relación directa entre la fase de ENOS y las tasas de dengue. Una pregunta abierta, tras este análisis, es la de si con tasas desagregadas a escalas de tiempo más cortas fuese posible encontrar alguna modulación. Adicionalmente, once años es un tiempo muy corto para encontrar una influencia real de ENOS, el cual tiene una periodicidad que va de 2 a 7 años.

Conclusión

A continuación se enlistan las conclusiones obtenidas en este estudio:

Es posible adaptar los datos climáticos disponibles en el estado de Veracruz para construir índices climáticos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima que sean representativos de las jurisdicciones sanitarias. Esta adaptación de la información climática es posible de realizar mediante el uso de datos interpolados a mallas regulares cuya representatividad de los datos observados en estación sea evaluada para cada jurisdicción sanitaria de interés.

Los datos epidemiológicos del dengue se encuentran disponibles a través de la Secretaría de Salud en el estado de Veracruz, expresados en tasas (número de casos por unidad poblacional) a nivel mensual y de jurisdicción sanitaria para el periodo 2006 a 2016. Esta información puede considerarse que está agregada a un nivel muy grueso, por lo que sería deseable contar con información más detallada y preferentemente para más de una sola década.



Las tasas mensuales de dengue en cada una de las jurisdicciones sanitarias de Veracruz, a partir de su función de autocorrelación, muestran una persistencia máxima de dos meses, lo que permite inferir que, en caso de haber precursores climáticos, estos podrían observarse hasta dos meses antes del aumento en las tasas de dengue.



Al analizar las relaciones entre clima y dengue con métodos estadísticos tradicionales (correlación en fase y con desfase) y análisis gráfico, en el nivel de agregación de los datos mensuales por jurisdicción sanitaria, no es posible encontrar ninguna relación robusta entre el dengue y las variables de precipitación y temperatura.

Tampoco se encontró una influencia o modulación discernible entre las diferentes fases de El Niño / Oscilación del Sur y las tasas de dengue a nivel trimestral, ya que la incidencia del dengue puede presentarse indistintamente de la fase de ENOS, al menos durante la década de 2006 a 2016, con base en índices trimestrales.

Se recomienda continuar investigando las posibles relaciones entre clima y salud, preferentemente utilizando datos de dengue en escala semanal para ampliar el tamaño de la muestra y explorar el papel de los eventos meteorológicos extremos. ☸



Referencias

- BARRADAS, A. y A. TEJEDA. (2010). *Variabilidad climática y teleconexiones. Una revisión bibliográfica*. México. Recuperado de <https://docplayer.es/13885909-Variabilidad-climatica-y-teleconexiones-una-revision-bibliografica.html>
- CAVAZOS, T. (2015). *Conviviendo con la naturaleza: El problema de los Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos en México*. Tijuana, México: Ediciones ILCSA, S.A. de C.V.
- CENTRO NACIONAL DE PROGRAMAS PREVENTIVOS Y CONTROL DE ENFERMEDADES (CENAPRECE) (2014). Recuperado de <http://www.cenaprece.salud.gob.mx>
- COMISIÓN FEDERAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS SANITARIOS (COFEPRIS) (2012). *Bases para el desarrollo de indicadores sobre salud y Cambio Climático en México*.
- COLÓN-GONZÁLEZ, F. J., I. R. LAKE y G. BENTHAM (2011). "Climate Variability and Dengue Fever in Warm and Humid Mexico". En: *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. Recuperado de <http://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0609>
- HURTADO-DÍAZ, M., et al. (2007). *Short communication: Impact of climate variability on the incidence of dengue in Mexico*. Recuperado de doi:10.1111/j.1365-3156.2007.01930.x
- IBÁÑEZ-BERNAL, S. y H. GÓMEZ-DANTÉS (1995). *Los Vectores del Dengue en México: Una revisión crítica*. México: Salud pública.
- Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC) (2013).** *Glosario* [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC), 2014:** *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.
- LOZANO-FUENTES, S., et al. (2012). "The Dengue Virus Mosquito Vector *Aedes aegypti* at High Elevation in México". En: *The American Society of The Tropical Medicine and Hygiene*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4269/ajtmh.2012.12-0244>
- MORENO-ALTAMIRANO, A., S. López-Moreno y A. Corcho-Berdugo (2000). *Principales medidas en epidemiología*. México: Salud Pública de México.



- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) (2016). *El Niño and La Niña: Frequently asked questions*. Recuperado de <https://www.climate.gov/>
- PAZ, S. y J. Semenza (2016). “El Niño and climate change, contributing factors in the dispersal of Zika virus in the Americas”. En: *The Lancet*. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)00256-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(16)00256-7)
- RIOJAS-RODRÍGUEZ, H., et al. (2006). *Estudio diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México*. México: Instituto Nacional de Ecología/ Instituto Nacional de Salud Pública.
- RIOJAS-RODRÍGUEZ, H., et al. (2007). *Estudio Piloto sobre Escenarios de Riesgos en Salud asociados al Cambio Climático en Regiones Seleccionadas de México*. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Ecología/ Instituto Nacional de Salud Pública.
- SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, O., et al. (2017). *Generación y actualización de datos climáticos de temperatura y precipitación en una malla regular para el análisis, monitoreo e información histórica-operacional de los desastres hidrometeorológicos en México*. La Paz, México: 5ª Reunión Anual de la Red de Desastres de Origen Hidrometeorológico y Climático, REDESClim, La Paz, B.C.S. México.
- SECRETARIA DE SALUD DEL ESTADO DE VERACRUZ (SESVER) (2018). *Plan de acción estatal para afrontar la vulnerabilidad del sector salud ante el Cambio Climático 2019 – 2020*. Tercera Reunión del grupo de trabajo de Cambio Climático y Salud, Xalapa, Veracruz, México.
- SOSA, O. (2018). *Análisis y aplicación de datos climáticos para un diagnóstico de vulnerabilidad clima-salud en el Estado de Veracruz*. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana, Veracruz, México
- TEJEDA-MARTÍNEZ, ADALBERTO et al. (2005). *El concepto de Temperatura Efectiva aplicado a las tarifas eléctricas domésticas en el oriente de México Investigaciones Geográficas (Mx)*. Núm. 58.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ (UASLP) (s. a.). *Ficha Técnica No.1. Zancudo-Mosquito Aedes aegypti (Linnaeus, 1762)*. Consultado de http://langif.uaslp.mx/documentos/plataformas/Ficha_tecnica_Aedes_aegypti.pdf
- VÁZQUEZ-AGUIRRE, J., M. BRUNET y P. Jones (2008). *Variabilidad natural y detección instrumental del cambio climático*. Veracruz, México: Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México.
- WILKS, D.S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Second Edition. Elsevier.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (2012). *Global strategy for dengue prevention and control*. Recuperado de <http://www.who.int/denguecontrol>



WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (2016). *Vector-borne diseases*. Recuperado de <http://www.who.int/>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (2016). *Mosquito control: can it stop Zika at source?*. Recuperado de <http://www.who.int/>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) (s. f.). *Temas de salud. Dengue*. Recuperado de <http://www.who.int/topics/dengue/>

WORD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) (2015). *Preguntas Frecuentes – Clima*. Consultado en <https://public.wmo.int/>

Contacto:

Sayli Sagrario Ybañez Hernández <Sayli_911@hotmail.com>





Análisis exploratorio espacial del índice de vulnerabilidad socioeconómica en el municipio de Naucalpan Estado de México

Exploratory spatial analysis of the socioeconomic vulnerability index in the municipality of Naucalpan, State of Mexico

María Milagros Campos Vargas - Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía

Luis Quintana Romero - Universidad Nacional Autónoma de México, FES Acatlán

José Francisco Monroy Gaytán - Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía

Oscar Frausto Martínez - Universidad de Quintana Roo – División de Desarrollo Sustentable

Recibido: 14 de mayo de 2018.

Aprobado: 10 de julio de 2018.

Resumen

El presente trabajo propone un análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) para el índice de vulnerabilidad socio-económica del municipio de Naucalpan, Estado de México, estructurado mediante un método univariado y de auto-correlación espacial, a partir del cual se obtuvo la comprobación del índice, su interacción, distribución y dependencia espacial por medio de cartografía temática.

Palabras clave: vulnerabilidad socioeconómica, exploración de datos espaciales, autocorrelación espacial, dependencia espacial.

Abstract

The present work proposes an exploratory analysis of spatial data (AEDE) for the socio-economic vulnerability index of the Naucalpan State of Mexico, structured by means of a univariate method and spatial auto-correlation, from which the verification of the index, its interaction, distribution and spatial dependence through thematic cartography was obtained.

Key Words: Socioeconomic vulnerability, exploration of spatial data, spatial autocorrelation, spatial dependence.

Introducción

Los efectos relacionados con el riesgo de desastre tienden a incrementarse de forma exponencial, debido a situaciones relacionadas con el tema de la vulnerabilidad en la sociedad. Entre estas sobresalen las de tipo socio-económico como las condiciones de pobreza, marginación y/o exclusión, los contextos referentes a los servicios de salud vivienda y educación precarios, estratos de población infantil y adultos mayores, el género (mujeres), la etnia, la religión y la afiliación política. Estos elementos o mecanismos interfieren e imprimen debilidad e incapacidad de enfrentar y recuperarse de una situación de desastre. Esta situación hace necesario la continuidad de investigaciones teórico-metodológicas en el tema de la vulnerabilidad, la cual se considera como un eje transversal en el manejo del riesgo de desastre. En esta perspectiva, los requerimientos en el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica, desde el punto de vista geoespacial, solicitan la implementación de metodologías robustas que cubran aspectos relacionados con el tratamiento de datos estadísticos y estimación de parámetros espaciales, a partir del cual se logre resultados estructurados como son los índices e indicadores compuestos, los modelos de interacción espacial y la representación de datos en términos cualitativos y cuantitativos en el territorio. En este contexto, una de las opciones que cumple con dichos requerimientos es el que se propone desde el análisis exploratorio y confirmatorio con base en la econometría espacial que provee de herramientas necesarias para el análisis regional, la construcción de mapas, así como el análisis confirmatorio de datos espaciales mediante modelos que utilizan una amplia batería de pruebas estadísticas que busquen determinar la congruencia de esas aproximaciones (Quintana, 2016). El objetivo es asegurar la especificación del modelo en cuanto a ser una fuente confiable para la instrumentación de planes de acción, en relación con los componentes y estructura de la vulnerabilidad socioeconómica de un espacio determinado.

Con base en lo antes mencionado, este trabajo tiene como objetivo proponer la implementación de las posibilidades técnico-metodológicas que ofrece el análisis exploratorio de datos espaciales como proveedor de una situación contextual asociada con la localización de la vulnerabilidad socioeconómica a partir de información espacial agregada. La especificación del modelo nos permitirá explorar las hipótesis principales, identificar las relaciones que explican el comportamiento de la vulnerabilidad socioeconómica en el territorio. Este enfoca en un análisis espacial cuantitativo en el que se incluyen la detección de los efectos de dependencia y heterogeneidad espacial en las variables del modelo, como punto de partida en la etapa, en el que por medio del paquete estadístico y cartográfico Geoda, se plantea la descripción de los datos del Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica por una serie de medidas de autocorrelación espacial local, que incluye la presentación de técnicas de ponderación por una matriz de pesos espaciales y su representación sobre el territorio a partir de la visualización de sus efectos.

La hipótesis central del trabajo consiste en considerar que la vulnerabilidad socioeconómica es un fenómeno eminentemente espacial, por lo que presenta efectos de derrama y contagio en el territorio. Lo cual, en términos de política pública tiene fuertes implicaciones al exigir el diseño de medidas de intervención que deben tomar en cuenta la heterogeneidad del territorio y las interacciones que se presentan en el mismo.



Marco teórico conceptual

La vulnerabilidad socioeconómica

De acuerdo con Bankoff *et al.*, (2003 citado en Van Westen, 2009) la vulnerabilidad es un componente multidimensional conformado por los ámbitos físico, social, económico, ambiental, institucional y humano. Es dinámico porque cambia con el tiempo y a través del espacio multiescalar y porque va de la escala de los individuos hasta los países; también es específico porque cada lugar puede requerir su propio enfoque. Blaikie (1996) menciona que la vulnerabilidad está relacionada con el nivel de desarrollo de las áreas expuestas y afectadas, lo que obliga a considerar a estos procesos desde un enfoque integral. De tal manera que, Wilches-Chaux (1989) señala que una sociedad puede ser vulnerable desde diferentes ángulos como: el natural, el físico, el ecológico, el social, el económico, el cultural, el educativo, el político, el técnico, el ideológico y el institucional. La suma de todos estos elementos da como resultado la vulnerabilidad global.

Se han realizado numerosos trabajos para intentar volver operativa la idea de vulnerabilidad socioeconómica; el factor común de dichos análisis es que estudian la vulnerabilidad de diferentes grupos socioeconómicos frente a una variedad de desastres (De Silva y Kawasaki, 2018). Sin embargo, en la práctica, el indicador más utilizado para acercarse a la vulnerabilidad socioeconómica es la pobreza, dado que la gente en estas condiciones se encuentra más expuesta al riesgo medioambiental respecto a la gente con mejor estabilidad económica (Brouwer, *et.al.*, 2007).

Los estudios de vulnerabilidad socioeconómica, para el caso mexicano, se han centrado en examinar el impacto de eventos naturales considerando algunos indicadores macroeconómicos (Rodríguez, 2004). Sin embargo, dichos estudios aún y cuando se realicen a una escala local –como la municipal- carecen de una dimensión de análisis propiamente espacial. En este trabajo se pretende proponer una perspectiva de espacial de la vulnerabilidad socioeconómica, considerando que el espacio no es neutro y tiene importantes funciones. De acuerdo con Capello (2011), el espacio es fuente de ventajas y desventajas –dotaciones factoriales diferenciadas, diferente accesibilidad y procesos de acumulación desiguales-, por lo cual debe ser incorporado en el análisis económico.

Con el fin de proporcionar una perspectiva espacial de la vulnerabilidad socioeconómica, en este trabajo se propone el uso del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE o ESDA por sus siglas en inglés), que es un conjunto de técnicas propuestas por Anselin (1988, 2005, 2014) para modelar procesos de interacción espacial, tal y como es el caso de la vulnerabilidad. Para llevar a cabo dicho análisis, se tomó como caso particular el del municipio de Naucalpan. La elección se justifica por la disposición de información estadística, así como por la relevancia económica que dicho municipio tiene para el estado de México y para el país en su conjunto (Quintana, 2012). En la siguiente sección se detalla la metodología AEDE que se utilizará en nuestro análisis.



Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)

Con el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS por sus siglas en inglés), el análisis espacial ha cobrado un gran impulso. Los SIG permiten la utilización de bases de datos georreferenciadas en capas de información con soporte de mapas y ello es la base del AEDE. En sentido estricto, el AEDE es un conjunto de técnicas para sintetizar propiedades espaciales, detectar patrones espaciales y formular hipótesis de la geografía de los datos (Anselin, 2005).

El principio básico para realizar un análisis AEDE es que el fenómeno de estudio presente una relación funcional específica, denominada dependencia o autocorrelación espacial. La dependencia espacial implica que el valor de una variable en un lugar está relacionado con su valor en otro lugar del espacio. Por lo cual, las observaciones de una variable en diferentes localizaciones no son independientes y tal es el caso de los procesos socioeconómicos de vulnerabilidad que aquí se buscan analizar.

Los patrones de dependencia espacial pueden ser positivos cuando existe asociación entre valores similares de una variable y localizaciones cercanas; o negativos, cuando los valores altos de una variable se encuentran rodeados por valores bajos de la misma y viceversa (Moreno, *et al.*, 2002) (Chasco, 2003).

En el análisis AEDE se utiliza una amplia gama de mapas en los cuales se representan diferentes agrupaciones de los datos, con el fin de identificar patrones espaciales de dependencia que pueden ser indicativos de fenómenos de derrama espacial o de jerarquías espaciales de las variables de estudio.¹ El análisis AEDE utiliza como medida de la dependencia espacial un estadístico de correlación espacial conocido como Índice de Moran (IM). El IM se define globalmente y localmente, su expresión global es la siguiente (Anselin, 1988):

$$IM = \frac{N \sum_{ij} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S_0 \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde: $S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$, x_i es la variable de estudio en la región i , $\bar{x}$ es su media, w_{ij} son los pesos de la matriz W y N es el número de observaciones. W es una matriz de pesos espaciales y sus elementos toman el valor de 1 cuando la unidad de análisis territorial presenta vecindades y 0 en otro caso. Las características de estas matrices se pueden revisar en Arbia (2008).

Por su parte, el IM local que se conoce como LISA por sus siglas en inglés, se define de la manera siguiente (Anselin, 1995):

$$LISA = \sum_i (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

¹ En el sitio GeodaCenter de Luc Anselin, en la Universidad de Chicago, pueden consultarse las diferentes variantes de mapas utilizadas en el análisis AEDE que están disponibles en: <http://geodacenter.github.io/documentation.html>



El IM global permite contrastar la hipótesis nula de dependencia espacial para todas las unidades espaciales, mientras que LISA contrasta la misma hipótesis nula para cada una de las unidades espaciales involucradas en el análisis.

Materiales y métodos

Localización y antecedentes del área de estudio

El municipio de Naucalpan se ubica en la porción occidental del Estado de México y forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (Figura 1). Esta demarcación forma parte del centro político y económico del país. Se caracteriza por tener una importante actividad económica, industrial y de servicios, así como una dinámica poblacional interesante. Naucalpan es un centro regional importante del Estado de México, correspondiente a la región del Valle Cuautitlán–Texcoco, la cual reúne la mayor concentración urbana y de actividades económicas del país (Quintana, 2012). Índice de Vulnerabilidad social

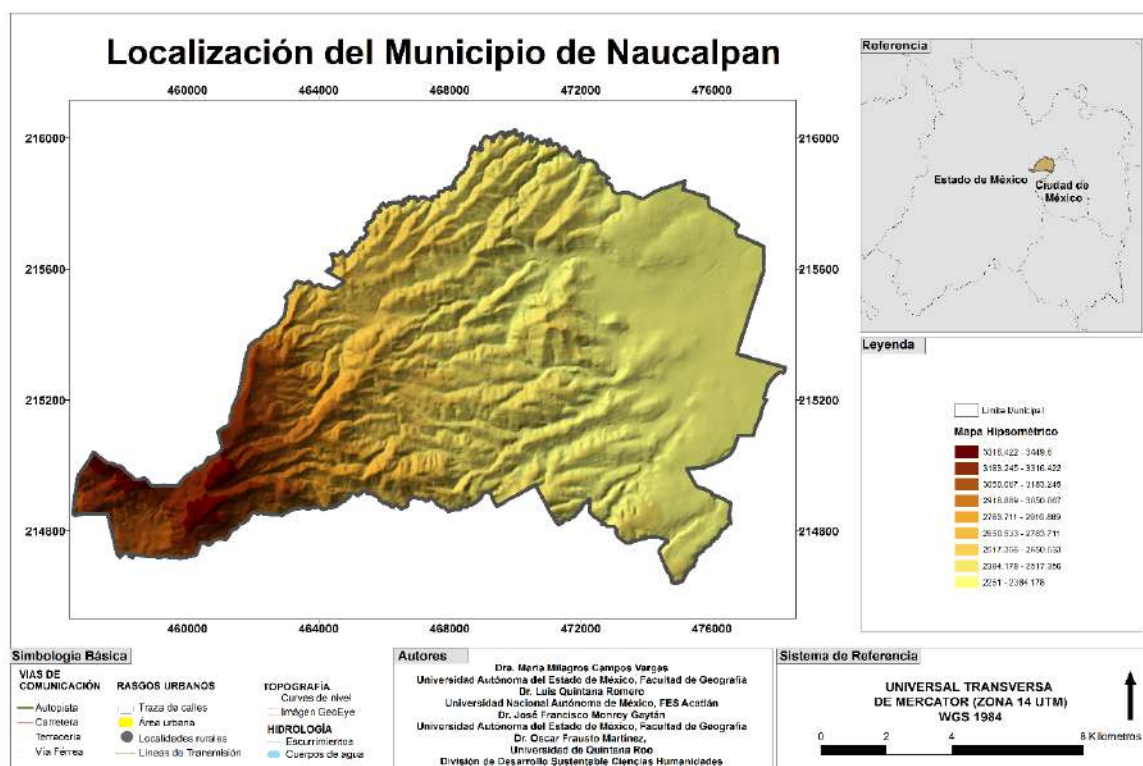


Figura 1. Localización del municipio de Naucalpan. Elaboración propia.

El municipio, como en diferentes zonas del Estado de México, el proceso de ocupación del suelo se dio de forma empírica a partir de una planeación artesanal en la que los pueblos emplazaron templos y plazas como lugares centrales y alrededor de ellos situaban los elementos restantes de forma relativamente ordenada (GME, 2010). Este modelo funcionó hasta mediados del siglo XX, época en la que el Estado de México experimentó un proceso de crecimiento poblacional y de ocupación del territorio, cuyas causas fueron múltiples y obedecieron, principalmente, a la política



seguida desde los años 50 en cuanto a los incentivos fiscales para el desarrollo industrial y la inversión privada. Esto dio lugar a la conurbación física del municipio en un lapso corto, lo que propició una ocupación con deficiencias de planeación y que se acentuó con la aparición de los polígonos industriales. A estas condiciones se sumaron inversiones para la creación de una red vial de comunicaciones que circulaba y enlazaba al municipio con la ciudad. Así, se dotó a la demarcación de autopistas que generaron el despliegue de extensos conjuntos habitacionales en las periferias, con un patrón de uso de suelo con gran consumo de territorio (Fernández, 2006). Los procesos de consolidación residencial, industrial y de áreas de servicios en el municipio generaron un efecto negativo en la calidad de vida, ya que la zona se convirtió en un espacio con grandes aglomeraciones y deficientes condiciones de bienestar y salud, propiciando la generación de espacios vulnerables en términos sociales, políticos y económicos

Índice de vulnerabilidad socioeconómica

Para explicar de alguna forma el contexto de vulnerabilidad del área de estudio se optó por la construcción del índice de vulnerabilidad socioeconómica, por medio del cual se pudiera delinear el impacto social de las políticas respectivas al crecimiento poblacional, la deficiente distribución de la población y las débiles circunstancias económicas que se presentan en el municipio. Se consideró evaluar este tipo de vulnerabilidad debido a que su marco teórico pone énfasis en la inclusión de variables estructurales, tales como condiciones de pobreza y temas de exclusión social, las cuales, dentro de la dimensión del riesgo pueden acrecentar o reducir una situación de desastre (Toscana, 2002).

El índice de vulnerabilidad socioeconómica del municipio de Naucalpan, se integró por 19 variables censales por Área Geoestadística Básica (AGEB) clasificados en 5 estratos. El cálculo se hizo a través del método de componentes principales y estratificados por la base metodológica de Dalenius y Hodges (1959). El índice se formuló por un conjunto de indicadores censales elegidos que impide a los grupos sociales, en mayor o menor medida, enfrentarse a las nuevas políticas económicas y a los riesgos. De ahí que, el primer conjunto de indicadores se refiera a edad, condición física, procedencia étnica y migración reciente, según el supuesto de que ser adulto mayor, indígena, discapacitado y migrante reciente, hace a las personas más vulnerables. El segundo grupo de indicadores, son las condiciones educativas que, tradicionalmente se ha detectado, inciden directamente en la pobreza y exclusión social, como el caso del analfabetismo y nivel de escolaridad a lo largo de la niñez y juventud. El tercer conjunto capta los contextos laborales, de acuerdo con el principio de que la desocupación, la derechohabencia a un servicio de salud y un solo ingreso en el hogar, ponen a las personas en una situación de indefensión. Por último, el cuarto se refiere a situaciones de vivienda que suponen precariedad y exclusión social a ciertos bienes y servicios necesarios para una vida digna.

El conjunto de variables fueron estandarizadas en porcentajes utilizando el paquete SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), para la definición de los siguientes indicadores:



Variables correspondientes al indicador social:

- Porcentaje de personas de 60 años y más
- Porcentaje de personas con alguna limitación física o mental
- Porcentaje de personas de 3 años y más hablantes de alguna lengua indígena
- Porcentaje de personas de 5 años y más residentes en otra entidad en junio de 2005

Variables correspondientes al indicador educación:

- Porcentaje de personas entre 6 y 14 años que no asiste a la escuela
- Porcentaje de personas entre 15 y 24 años que no asiste a la escuela
- Porcentaje de personas de 15 años y más analfabetas
- Porcentaje de personas de 15 años y más sin escolaridad
- Porcentaje de personas de 18 y más años que no cuentan con educación post-básica
- Años promedio de escolaridad
- Porcentaje de personas entre 15 y 64 años desocupadas

Variables correspondientes al indicador salud:

- Porcentaje de población sin derechohabencia de algún servicio de salud
- Porcentaje de hogares censales con jefatura femenina

Variables correspondientes al indicador vivienda:

- Porcentaje de viviendas con piso de tierra
- Porcentaje de viviendas que no disponen de energía eléctrica
- Porcentaje de viviendas que no disponen de agua entubada
- Porcentaje de viviendas que no disponen de drenaje
- Porcentaje de viviendas que no disponen de refrigerador
- Porcentaje de viviendas con un dormitorio

Con los datos estandarizadosse procedió al cálculo del IVS, para lo cual se aplicó la técnica de estratificación multivariada mediante una medida unidimensional de componentes principales



para identificar dentro del grupo de variables correlacionadas, cuál de ellas explica la mayor variabilidad del fenómeno. Este se realizó a partir de la suma ponderada de cada uno de los indicadores tipificados; el método se explica por el cálculo de la varianza total que indica la variabilidad del conjunto de indicadores. Con este resultado se empleó el método de estratificación univariada de Dalenius-Hodges, método que permite distribuir los datos en función del número de casos, es decir, realiza una ponderación considerando el universo de datos del indicador para obtener las calificaciones propuestas de las variables según su valor normalizado, en el que el número de intervalos es $= a + 1 + 3.3 \times \log(n)$, donde n es el número de observaciones o AGEB's.

$$NI = 1 + 3.3 \times \log(202) = 8.60$$

Para obtener una distribución uniforme de las observaciones en cada intervalo, se calculó la raíz cuadrada de las frecuencias y se forma la acumulada. Finalmente, para asignar los estratos se calcula el cociente entre el rango de la variable y el número de intervalos (en este caso 3) dado por el valor máximo menos el mínimo posible de la variable. Con las calificaciones asignadas a los indicadores normalizados los estratos para IVS de Naucalpan se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Estratificación del Índice de Vulnerabilidad socioeconómica por AGEB.

Estrato	Rango cualitativo	Límite de Intervalo	Frecuencia
Estrato I	Bajo	-2.020 a -0.6265	66
Estrato II	Medio	-0.62356 a -0.13724	70
Estrato III	Alto	-0.13695 a 3.86048	66

Fuente: Elaboración propia.

El método permitió garantizar la homogeneidad de las unidades espaciales sin perder la heterogeneidad de los resultados.

Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)

La modelación de la exploración de datos se trabajó a partir el método de correlación espacial con el objetivo de cuantificar la asociación que existe entre el índice de vulnerabilidad y la base territorial (AGEB), todo para conocer y validar el comportamiento de movimiento del índice de vulnerabilidad de un lugar con respecto a otro lugar; esto se llevó a cabo mediante la utilización del Sistema GeoDa, el cual brinda la posibilidad de reunir en un solo *software* las herramientas AEDE ya descritas previamente.²

Ya en la aplicación de los métodos del AEDE, se realizó la representación espacial del patrón de distribución del IVS fue procesado por medio de cuantiles y percentiles (Figura 2).

² GeoDa es un *software* desarrollado por Luc Anselin con el fin de realizar análisis AEDE y estimar modelos econométricos espaciales. En este trabajo se utilizó la versión 1.12 del paquete y se encuentra disponible en el sitio: <http://geodacenter.github.io/>



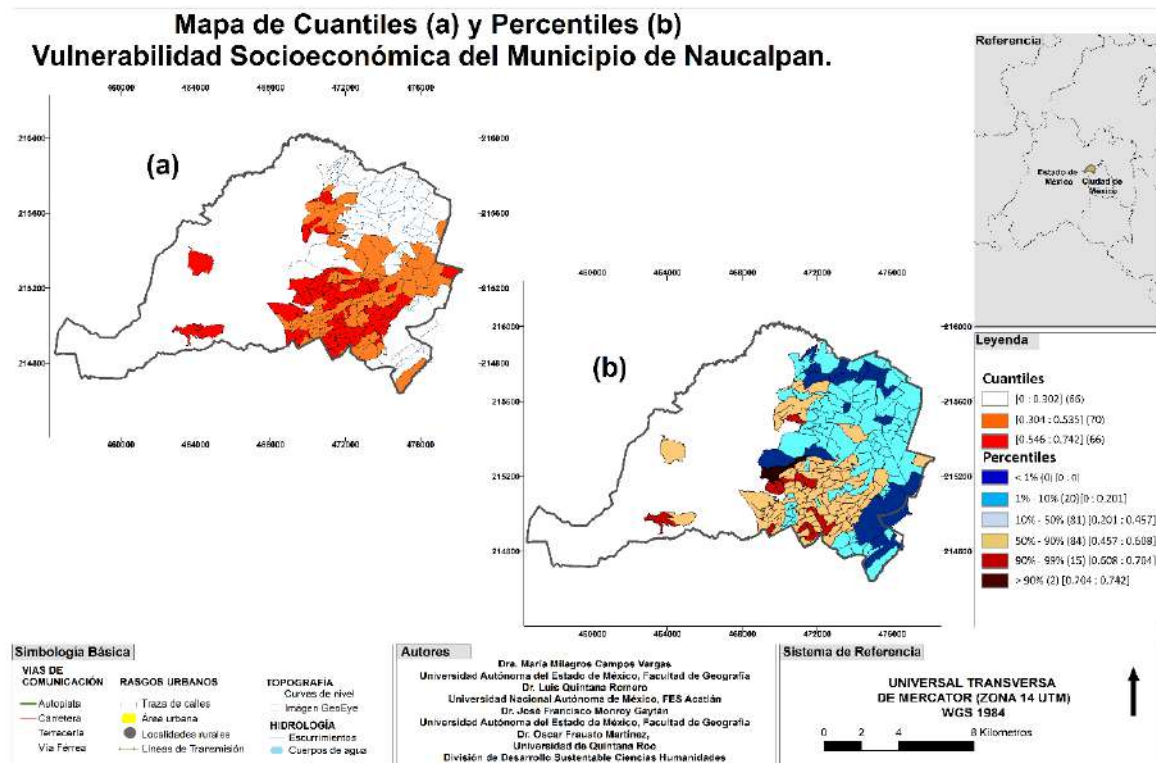


Figura 2. Cuantiles (a) y percentiles (b) del Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica del municipio de Naucalpan. Elaboración propia.

Ambos mapas muestran que los valores más altos del índice se agrupan en la parte suroeste del municipio, detectando con ello las zonas más vulnerables de Naucalpan.

En la figura 2 del mapa (a), se observa que los valores medios y altos se agrupan en 136 unidades espaciales de un total de 202 AGEBS y cubren el 69 % de la superficie del municipio; en contraposición, los valores bajos de vulnerabilidad corresponden a 66 unidades AGEBS y se distribuyen en la vertiente norte del municipio. El mapa de percentiles, figura 2, mapa (b), permite complementar el análisis al resaltar los puntos fríos y calientes, es decir, reconocer valores extremos y por medio de estos resaltar los puntos de conflictos y los de las mejores condiciones en términos de vulnerabilidad socioeconómica. El resultado arrojó dos unidades espaciales como las más afectadas y 20 como las óptimas. En este sentido, la correlación estadística y representación gráfica de las unidades espaciales de ambos resultados brindan un primer acercamiento al comportamiento de la vulnerabilidad socioeconómica en la zona de estudio.

Los AGEBS más vulnerables son los que se localizan en la porción sureste, que se trata de conjuntos habitacionales de colonias populares de alta densidad y baja calidad de construcción –como la colonia 3 de mayo, Chivato, Casa Blanca, etcétera–, en las que en muchos casos albergan zonas comerciales en el mismo predio de las viviendas, así como ejidos y áreas agrícolas que han ido cediendo al crecimiento urbano informal, mismo que se consolida con el paso del tiempo según un esquema de deficiencia en cuanto a infraestructura y servicios.



Por otra parte, las zonas con grados de vulnerabilidad bajo se localizan en dos porciones específicas al sureste, colindante con zonas de ingresos altos de los municipios de Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla y las delegaciones Azcapotzalco y Miguel Hidalgo. Al norte en la zona residencial de Ciudad Satélite y Zona Esmeralda, por su carácter económico, son áreas planeadas con mayor nivel de infraestructura, conjuntos habitacionales residenciales de baja densidad y alta plusvalía, así como centros comerciales de alto nivel socioeconómico, entre los que se encuentran La Cúspide, Plaza Satélite y Lomas Verdes. La distribución espacial evidencia fuertes contrastes en términos sociales y económicos de la población en el municipio.

Análisis de la dependencia espacial

Como ya se había mencionado antes, el análisis de dependencia espacial permite estudiar la forma en que se produce la propagación de un fenómeno a través de diferentes unidades espaciales y si este comportamiento es adecuado a algún modelo de difusión establecido, o bien, para estudiar la segregación espacial de alguna característica (Gamir Orueta *et al.*, 1994)

El IVS medido para las AGEBS (unidades espaciales) supone que en la vulnerabilidad podrían existir efectos de contagio o desbordamiento de una unidad espacial a las unidades espaciales vecinas, lo cual daría lugar a la concentración del fenómeno en ciertas zonas del territorio. También, es posible que se presente disimilitud en los procesos de vulnerabilidad entre las unidades espaciales más próximas, lo cual sería evidencia de procesos de jerarquía espacial propios de relaciones tipo centro-periferia bajo las cuales una zona disminuye su vulnerabilidad a costa de que en otras zonas se incremente.

Para el caso de estudio de estos procesos espaciales de dependencia, se utilizaron los índices de Moran global y local ya especificados en la sección previa. En todos los casos se utilizó una matriz de pesos espaciales de tipo Reyna por frontera, ya que esta permitió maximizar los procesos de dependencia espacial de similitud por vecindad. En la figura 3 se ilustran las opciones del *software* para elegir el tipo de matriz de pesos espaciales que se utilizaron y, que en este caso, fue Reyna o *Queen*.

Property	Value
type	custom
symmetry	unknown
file	AGEBNauc_region.gal
id variable	CVEAGEB
# observations	202
min neighbors	0
max neighbors	16
mean neighbors	5.38
median neighbors	5.00
% non-zero	2.66%

Figura 3 Matriz de pesos espaciales tipo Reyna a nivel AGEBS. Elaboración propia



Una vez que se obtiene el IM es necesario evaluar su nivel de significancia estadística, que se relaciona con el nivel de error de decisión que suele ser de 5% (0.05), por lo que si su p-valor es mayor a 0.05 implica que la configuración espacial se produce de manera aleatoria y no existe dependencia espacial, mientras que un p-valor menor (0.05) confirmaría la existencia de la dependencia espacial.

El resultado del IM global fue estadísticamente significativo y obtuvo un valor de 0.69 (Figura 4), lo cual muestra una fuerte dependencia espacial positiva en los procesos de vulnerabilidad socioeconómica en el municipio de Naucalpan.³

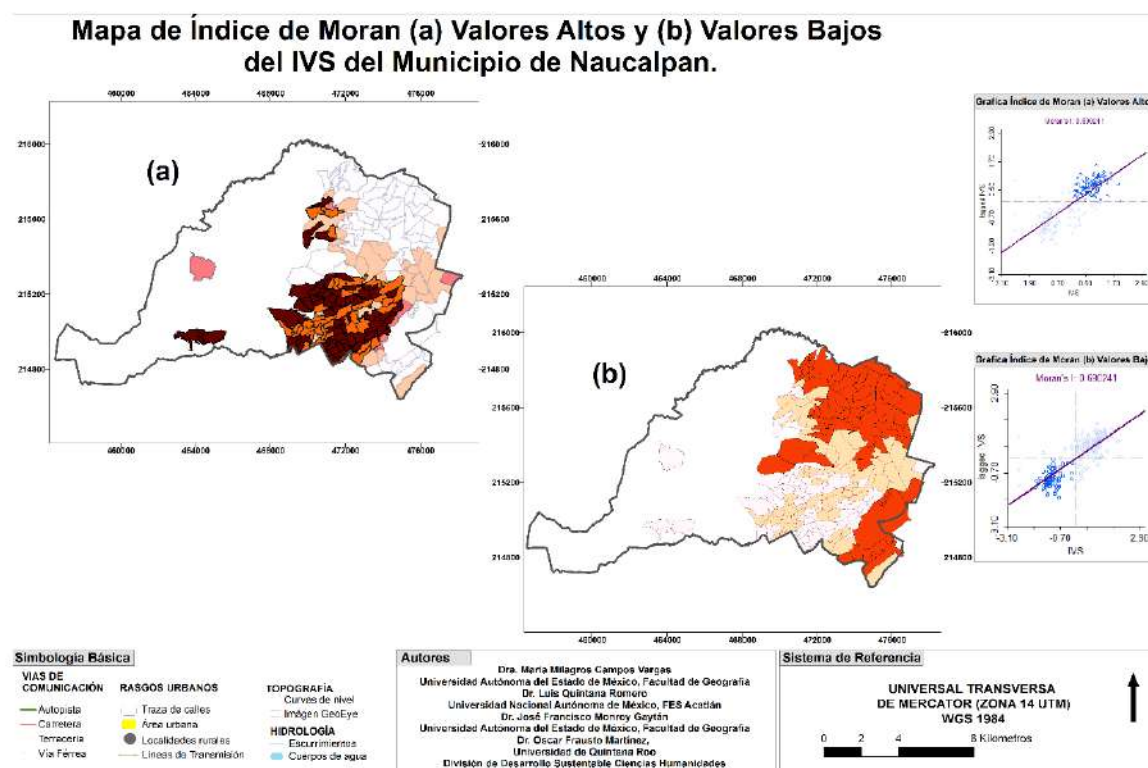


Figura 4. Estadística del Índice de Moran (a) valores altos y (b) valores bajos del IVS. Elaboración propia.

En la figura 4, mapa (a), se muestra el gráfico de dispersión del IM, que presenta un gran número de AGEBS ubicados en el cuadrante I; los cuales se caracterizan por presentar una elevada vulnerabilidad socioeconómica y estar rodeados también por AGEBS de alta vulnerabilidad. Estas unidades territoriales forman claramente un clúster o agrupamiento en donde se presentan procesos de alto contagio de la vulnerabilidad socioeconómica y que se muestran claramente en el mapa de análisis LISA de la figura, ubicados principalmente en la región sureste del municipio. En el cuadrante III, presente en la parte inferior izquierda de la gráfica del IM, se presentan los valores

3 Para validar la significancia del IM se realizaron 999 permutaciones y se obtuvieron p-valores inferiores al 0.001, lo cual permite rechazar en todos los casos la hipótesis nula de aleatoriedad espacial.



bajos de vulnerabilidad socioeconómica; destaca en esos datos que también los valores bajos de vulnerabilidad forman un clúster o agrupamiento en el cual hay efectos de derrama de baja vulnerabilidad de un territorio a otro (figura 4, mapa b).

En la tabla de la selecciones de las unidades espaciales con altos valores de vulnerabilidad socioeconómica, se puede confirmar que pertenecen a colonias con bajo ingresos y precariedad en servicios urbanos, así como las unidades espaciales de más baja vulnerabilidad en el municipio y que se corresponden con colonias de altos ingresos. Los resultados obtenidos por los índices global y local de Moran permiten confirmar que la vulnerabilidad socioeconómica es un proceso eminentemente espacial. Por lo cual, su despliegue es desigual en el territorio y claramente muestra procesos de aglomeración territorial que definen el marco de actuación de las políticas públicas necesarias para poder reducir sus efectos negativos.

Conclusiones

El AEDE considera la interacción del análisis estadístico con la información cartográfica para entender de forma integral las distribuciones espaciales del IVS del municipio de Naucalpan, su esquema de asociación, sus clúster y los puntos calientes/fríos. A través del AEDE se logró mostrar que la vulnerabilidad socioeconómica presenta procesos espacialmente diferenciados, lo cual confirma nuestra hipótesis inicial. Los resultados obtenidos indican que el patrón espacial que sigue la vulnerabilidad socioeconómica en Naucalpan es de un proceso típico de dependencia espacial positiva, en el cual se identifican dos agrupamientos o clústeres, uno de alta vulnerabilidad en el sureste del municipio y otro de baja vulnerabilidad hacia la parte central del municipio.

De forma operativa el programa informático, GEODA, posibilita la interacción entre gráficos, datos tabulares, y métodos estadísticos en una misma herramienta potente en el análisis espacial desde una plataforma amigable, que no necesita amplios conocimientos de un SIG como tal. Los procedimientos del análisis exploratorio de datos espaciales mediante gráficos de dispersión resultaron ser un método pertinente en la revisión y aplicación de las técnicas econométricas que han sido referenciadas en el presente trabajo. Desde el punto de vista temático el resultado mostró una estructura claramente definida en dos grupos de datos, coincidentes con las características sociales y económicas del área de estudio.

En un trabajo futuro sobre el tema, resultaría altamente relevante extender esta investigación para llevar a cabo un análisis confirmatorio, utilizando modelos econométricos espaciales que permitan establecer cuáles son los determinantes de los procesos hasta ahora identificados en esta investigación. ☯



Referencias

- ACEVEDO, I. (2008). *Algunos conceptos de la econometría espacial y el análisis exploratorio de datos espaciales*.
- ANSELIN L. (2005). *Exploring Spatial Data with GeoDaTM: A Workbook*. Centre for Spatially Integrated Social Science. Recuperado de <http://geodacenter.asu.edu/learning/tutorials>
- ANSELIN, L. y S. REY (2014). *Modern Spatial Econometrics in Practice: A Guide to GeoDa, GeoDaSpace and PySAL*. GeoDa Press LLC.
- ANSELIN, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- ARBIA, G. (2008). *Spatial econometrics: Statistical foundations and applications to regional convergence (Advances in Spatial Science)*. Springer.
- BLAIKIE, P., et al. (1996). *Vulnerabilidad, el entorno social de los desastres*. Bogotá, Colombia: La RED-ITDG.
- BROUWER, R., et al. (2007). *Socioeconomic Vulnerability and Adaptation to Environmental Risk: A Case Study of Climate Change and Flooding in Bangladesh, Risk Analysis*. Vol. 27, Núm. 2.
- CHASCO YRIGOYEN, C. (2003). *Econometría Espacial Aplicada a la Predicción -Extrapolación de Datos Microterritoriales, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica*. Tesis Doctoral.
- DALENIUS, T. & J. HODGES (1959). "Minimum Variance Stratification". En: *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 54, Núm. 285.
- DE SILVA, M.M.G.T. y A. KAWASAKI (2018). *Socioeconomic Vulnerability to Disaster Risk: A Case Study of Flood and Drought Impact in a Rural Sri Lankan Community, Ecological Economics*.
- FERNÁNDEZ, M. (2006). *Diagnóstico Ambiental Urbano*. México: Instituto Municipal de Planeación Urbana del Estado de México.
- GAMIR, O., et al. (1994). *Prácticas de Análisis Espacial*. Barcelona: Oikos-tau..
- GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO, SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO (2010). *Zonas Metropolitanas 200 años de realidades mexiquenses*. Tomo I. México.
- LUC, A. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Kluwer Academic Publishers.
- MORENO, R. (2002). "Econometría espacial: nuevas técnicas para el análisis regional. Una aplicación a las regiones europeas Investigaciones Regionales".



- QUINTANA, L., *et al.* (2016, Marzo). *Econometría Aplicada Utilizando R 1ª Ed.* Universidad Nacional Autónoma de México, Delegación Coyoacán, México, D.F.
- QUINTANA, L. (2012). “Perspectivas de la actividad industrial en el municipio de Naucalpan”. En: Isaac y Quintana (coordinadores). *La industria en la zona metropolitana del Valle de México*, Plaza y Valdés-UNAM, Vol. 2.
- REYES, M. (2003). “Tecnologías de Información, cartografía y geografía en la era digital”. En: *Revista Boletín de Política Informática*.
- TOSCANA-APARICIO, A. (2006). *Los paisajes del desastre*. Tesis de doctorado en Geografía, Posgrado de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- VAN WESTEN, C. J. (2009). *Distance Education course on the use of spatial information in Multihazard risk assessment*. Recuperado de <http://www.itc.nl/Pub/study/Courses/C11-AES-DE-01>





Resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones: caso de estudio Chetumal, Quintana Roo, México

Resilience of drain system facing floods: a case study in Chetumal, Quintana Roo, México

Anita Martínez Méndez - Ana Cecilia Travieso Bello - Oscar Frausto Martínez

Universidad de Quintana Roo - Universidad Veracruzana

Recibido: 14 de mayo de 2018.

Aprobado: 10 de julio de 2018.

Resumen

Las inundaciones son uno de los efectos de los huracanes que se han evidenciado más en las zonas costeras, ocasionando pérdidas de vidas humanas y económicas. Esta situación ha puesto a prueba la capacidad de respuesta de los sistemas de infraestructura de drenaje pluvial. El objetivo de la investigación que precedió a este trabajo fue determinar la resiliencia ante inundaciones asociadas a huracanes del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México. Se consideraron cinco componentes, cada uno con un número variable de indicadores mostrados entre paréntesis: robustez (8), redundancia (7), recursos (2), rapidez (2) y capacidad adaptativa (13). El valor de cada indicador se normalizó; luego, se ponderó mediante la consulta de expertos; y, por último, se integró el índice de resiliencia, obteniéndose un valor de 0.2982 para la ciudad de Chetumal. Este valor indica una resiliencia baja, asociada principalmente a los componentes recursos y redundancia. Con base en lo anterior, se deben reforzar ambos componentes para elevar la resiliencia con énfasis en la aplicación de normativas e instrumentos de planeación territorial, planes de emergencia en caso de inundaciones, planes de mantenimiento de la infraestructura pluvial, así como inversión en programas de prevención.

Palabras clave: Inundaciones, índice de resiliencia, infraestructura, capacidad adaptativa.

Abstract

Floods are one of the effects of hurricanes that have been more evident on coastal areas causing human deaths and economical loss. This tests the response capacity of drain system infrastructure. The objective of this research was to determine resilience of drain system infrastructure facing floods, produced by hurricanes, in the city of Chetumal, Quintana Roo, México. Five components were considered, each one with a variable number of indicators, which are shown in parenthesis: sturdiness (8), redundancy (7), resources (2), speed (2) and adaptive capacity (13). Each value was standardized, then weighted through experts' enquiry and finally resilience rate was defined, 0.2982 was found for the city of Chetumal. This demonstrates a low rate for resilience, which was mainly associated to resources and redundancy components. Based on this, both components should be strengthened in order to increase resilience rate stressing normative and territorial planning instruments application, emergency plans in case of floods, maintenance service plans of drain system infrastructure as well as investment in prevention programs.

Key words: Floods, resilience rate, infrastructure, adaptive capacity

Introducción

A nivel mundial, 23% de la población vive a menos de 100 kilómetros de la costa (Nicholls *et al.*, 2007: 319) y se espera que el 50% lo hará en el 2030. Estas poblaciones estarán expuestas a riesgos asociados a fenómenos hidrometeorológicos como huracanes, inundaciones costeras, tormentas tropicales, y a la transmisión de enfermedades infecciosas relacionadas con el mar (Adger *et al.*, 2005; Aragón, 2014). Anualmente, alrededor de 120 millones de personas están expuestas a peligros por ciclones tropicales (Nicholls *et al.*, 2007) que ocasionan inundaciones (Cavazos, 2015). En este sentido, se estima que 10 millones de personas experimentan inundaciones costeras cada año debido a mareas de tempestad, y 50 millones podrían estar en riesgo para 2080 por el cambio climático y el aumento de la densidad de población (Adger *et al.*, 2005). Esto será consecuencia del aumento de la población, que trae consigo un incremento en la demanda de vivienda y servicios; dicha demanda es probable que rebase la capacidad de atención del estado, propiciándose el establecimiento de asentamientos irregulares en zonas vulnerables a fenómenos hidrometeorológicos (Baker, 2012; Aragón, 2014).

Estudios realizados en Argentina, Colombia, Costa Rica y México describen la relación directa entre las inundaciones y la rápida urbanización de áreas verdes, la ubicación de vivienda informal en zonas bajas y la ausencia de inversión en sistemas de drenaje pluvial (Aragón, 2014). En ese sentido, la falta de drenaje pluvial se convierte en uno de los factores que propicia más las inundaciones urbanas, considerando que una lluvia intensa puede terminar en una inundación desastrosa (Lavell, 1996). Las inundaciones han sido los eventos más destructivos en México, ocupando el segundo lugar de los desastres que causan el mayor número de muertes (Cavazos, 2015). Dentro de las estrategias de mitigación que han contribuido a subsanar dichos desastres se encuentran los sistemas de drenaje pluvial (Ferriman, 2007, citado por Arnbjerg *et al.*, 2013).

Por tanto, es necesario que la construcción del sistema de drenaje pluvial se integre al desarrollo de infraestructura urbana y que este cuente con capacidad para enfrentar los efectos asociados a inundaciones. El propósito de la presente investigación fue determinar la resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones en la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo. El trabajo se organizó en cinco apartados: marco conceptual, método y técnicas de trabajo, resultados, discusión y conclusiones.

Marco conceptual

Un sistema de drenaje pluvial es aquel que capta y conduce las aguas de lluvia a sitios de vertido para evitar inundaciones, o en su caso, para recibir un tratamiento o aprovechamiento de estas. Se encuentra conformado por tuberías enterradas –que generalmente se instalan en el centro de las calles-, sumideros o bocas de tormenta, emisores, colectores, subcolectores, estructuras de conexión, tratamiento de aguas y sitio de vertido, además de las obras conexas como pueden ser plantas de bombeo, pozos de visita y otras (Schjetnan *et al.*, 1997; USAID, 2013; IMTA, 2016).

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) (2009) define resiliencia como:



La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a peligros para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de un peligro de manera oportuna y eficiente, incluso a través de la preservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas esenciales (p. 4).

La resiliencia de la infraestructura es definida como la capacidad que tiene un sistema para soportar eventos extraordinarios (naturales y antropogénicos) que ocasionan algún efecto en el subsistema, originando que alguna parte falle (Gay, 2016). También, se define como aquella capaz de ajustar su funcionamiento antes, durante o después de los cambios y las perturbaciones, de modo que pueda continuar funcionando después de una interrupción y en presencia de tensiones continuas (Dekker *et al.*, 2008; Tamvakis y Xenidis, 2013; Refocus, 2015; Gallego y Essex, 2016).

La infraestructura resiliente no es aquella que no falla, sino la que puede sostener un nivel mínimo de servicio y recuperar su funcionamiento original en un tiempo y costo moderados después de sufrir un evento (Yusta *et al.*, 2011; Gay, 2016). La resiliencia de la infraestructura generalmente se ha relacionado con la integridad estructural de los sistemas, es decir, las partes físicas del mismo, esenciales para garantizar un rendimiento operativo continuo durante una carga extrema. Esta considera los principios de robustez, redundancia, recursos y rapidez. La robustez se refiere a la resistencia inherente del sistema para soportar demandas externas sin degradación o pérdida de funcionalidad. La redundancia señala las propiedades del sistema que permiten alternativas, elecciones y sustituciones bajo estrés. Los recursos describen la capacidad de movilizar capitales y servicios necesarios en situaciones de emergencia; y por último, la rapidez consiste en la velocidad con la que se puede superar la interrupción (Bruneau *et al.*, 2003).

Por otra parte, O' Rourke (2007) reconoce la estrecha relación entre las características de la comunidad y la resiliencia, indicando que el ingreso promedio, el crecimiento económico, el nivel de conciencia y la política local, entre otros factores, repercuten en la resiliencia de la infraestructura. Por tanto, el análisis de la resiliencia de la infraestructura debe incorporar el componente social, además de los descritos previamente.

Con base en lo anterior, en este trabajo se define la resiliencia del sistema de drenaje pluvial como la capacidad física y social para mitigar las inundaciones, sin colapsar totalmente su funcionamiento, así como recuperar su estado inicial o en su caso mejorarlo después de una perturbación.

Método y técnicas de trabajo

Área de estudio

La localidad urbana de Chetumal es un asentamiento costero y capital del estado de Quintana Roo. Se ubica en el extremo suroriental de México, en el Caribe, entre los paralelos 18° 33' 46" y 18° 29' 40", y en los meridianos 88° 21' 57" y 88° 16' 45" en el municipio de Othón P. Blanco (Figura 1). Tiene una superficie de 18 158 hectáreas (IMTA-CAPA, 2015). El relieve es plano con elevaciones suaves y una altitud promedio de 10 m.s.n.m. Su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26.7 °C y las mínimas y máximas promedio oscilan entre 22.2 y 32.6°C. La precipitación media anual es de 1 258 mm. Predomina el suelo de tipo gleysol, caracterizado por un drenaje deficiente, con cobertura vegetal de selva alta y mediana subperennifolia (INEGI, 2016).



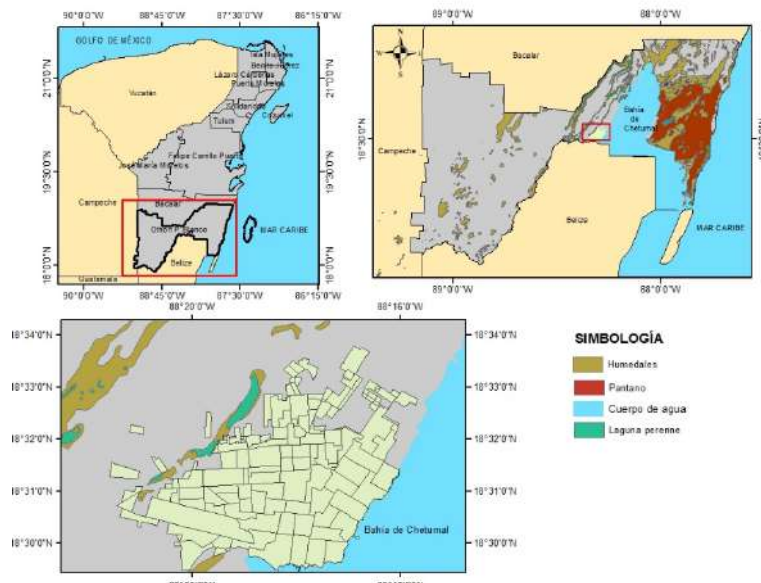


Figura 1. Ubicación geográfica de la localidad de Chetumal, municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo. Fuente: Elaborado con base en INEGI (2016).

El área de estudio está expuesta a ciclones tropicales con un grado de afectación muy alto (CONAPO, 2000). Dentro de los fenómenos hidrometeorológicos más significativos en la zona, destacaron los huracanes Janet, Carmen y Dean. El huracán Janet en 1955 registró la máxima categoría (cinco) de acuerdo con la escala Saffir Simpson (Frausto, 2017), ocasionando 500 pérdidas humanas y 1.2 billones de pesos (Hernández, 2014). Por su parte, el huracán Carmen, en 1974 (19 años después de Janet), entró a 30 millas de Chetumal con categoría cuatro, provocando daños económicos por 152 millones de pesos y cuatro pérdidas humanas. Posteriormente, en 2007, el huracán Dean impactó a 65 kilómetros con categoría cinco, causando derribo de árboles, antenas, espectaculares, postes de alumbrado público, teléfono y daños en más de la mitad de las vialidades de la ciudad por inundación y objetos que obstruían la circulación (UQROO, 2011; Hernández, 2014; Rodríguez, 2017).

Chetumal, en 2010, contaba con 151 243 habitantes dedicados principalmente al desarrollo de actividades terciarias, a la administración pública y comercio. Esta es la segunda localidad urbana costera con más población en el estado de Quintana Roo, representando el 1.14 % con respecto al estado y 61% en relación con el municipio Othón P. Blanco (INEGI, 2010). De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2018), se proyecta para el año 2020 y 2030 un crecimiento de hasta 237 mil habitantes. Dicho incremento poblacional colocará a Chetumal como la tercera ciudad más grande en el Caribe de México, con aumento poblacional por década del 21% y 17% respectivamente, superada solamente por Cancún y Playa del Carmen.



Selección del evento

Un principio general para el estudio de la resiliencia es el reconocimiento del evento más reciente en el cual la comunidad se haya puesto a prueba y, por tanto, es el tiempo de cohorte para analizar la capacidad adaptativa (Frausto, *et al.*, 2016). En ese sentido, se realizó la consulta de bases de datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), informes emitidos por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) y, por último, en el programa busca ciclones se consultaron las trayectorias de los huracanes que impactaron el estado de Quintana Roo en el periodo del 2000 al 2015. Se seleccionó al huracán Dean –que impactó el 21 de agosto de 2007 a 65 kilómetros de la localidad urbana de Chetumal– porque alcanzó la máxima categoría (cinco en la escala Saffir Simpson) y ocasionó daños en el área de estudio como: inundaciones en diversas zonas, interrupción de energía eléctrica y afectaciones en el servicio de agua potable, en el sistema de drenaje y en las vialidades (Conagua, 2007; Cenapred, 2014).

Cálculo del índice de resiliencia

La metodología utilizada para la construcción del índice de resiliencia se desarrolló en cinco fases (Boulanger, 2008; Thiel, 2013). En la primera, se realizó la definición conceptual de cinco componentes (robustez, redundancia, recursos, rapidez y capacidad adaptativa) mediante la investigación documental (Brenau *et al.*, 2003; O'Rourke, 2007).

En la segunda fase se definieron indicadores cualitativos y cuantitativos para cada uno de los componentes (Tablas 1, 2, 3, 4 y 5) a través de la investigación documental y se clasificaron en positivos si se presentó relación directa con la resiliencia, y negativos si la relación que mostró fue inversa. Posteriormente, se evaluaron los indicadores mediante una o varias de las siguientes técnicas: revisión de la bibliografía, entrevista y encuesta. La entrevista se realizó de forma directa con apoyo de una guía semiestructurada. Se entrevistaron a ocho informantes clave: tres de Conagua (Comisión Nacional del Agua), cuatro de CAPA (Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo) y dos de Protección Civil Municipal. Estos fueron seleccionados de acuerdo con la injerencia que tienen en el sistema de drenaje pluvial. La encuesta se aplicó de forma directa con el apoyo de un cuestionario conformado por 22 preguntas, distribuidas en tres secciones que incluyen: 1) datos generales del entrevistado, 2) experiencias previas con inundaciones asociadas a huracanes y 3) sistema de drenaje pluvial.

Para la aplicación del cuestionario se realizó un muestreo estratificado con afijación proporcional. La población objetivo fueron habitantes de 18 años en adelante. La unidad de muestreo, del total de hogares tomado del censo de población y vivienda 2010. Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{k^2 * q * d}{r^2 * p * (1 - t)}$$

Los parámetros (d, r y t) fueron tomados de la encuesta intercensal 2015 realizada por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) a nivel municipal, considerando que



Chetumal representa 61% del total del municipio de Othón P. Blanco. Se obtuvo una muestra total de 238 hogares, por razones de redondeo al número inmediato superior, la muestra final quedó de 292 hogares.

El marco muestral utilizado fue la traza urbana de la ciudad de Chetumal conformada por 131 AGEB¹, de las cuales se seleccionó 91, las restantes se omitieron toda vez que no contaban con hogares habitados o, en su caso, correspondían a zonas industriales, infraestructura urbana y zonas de área verde. La muestra de hogares dentro de cada AGEB se obtuvo al azar, mediante la tabla de números aleatorios. Los cuestionarios se aplicaron en el mes de marzo de 2018, de lunes a sábado en horario de 15:00 a 18:00 h.

1 N. del E.: Área geoestadística básica.



Tabla 1. Indicadores de robustez del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicador y autores que lo han empleado	Definición y justificación del indicador	Tipo de variable y relación con la resiliencia	Categoría/Unidad	Fuente de información
Zonas con nivel de afectación alto ante inundaciones (Balica <i>et al.</i> , 2012; Giordano, 2012).	Aquellas zonas con mayor susceptibilidad a presentar daños por inundaciones en los diversos sistemas que la conforman. El conocimiento de las zonas de riesgo en las ciudades es un factor relevante para la planificación de la infraestructura en áreas aptas para su desarrollo.	Cuantitativa continua Relación inversa	Porcentaje	Documental: UQROO, 2011; INEGI, 2016. Entrevista a informantes clave: 2 de CAPA, 1 Conagua y 2 de Protección civil municipal.
Longitud de colectores con más de 30 años de antigüedad (Giordano, 2012; CAF, 2014).	Se refiere a las primeras redes de colectores con más años de antigüedad. Este indicador ayuda a plantear programas o estrategias de mantenimiento, así como prioridades en la construcción o sustitución de tuberías y de atención en caso de desastre.	Cuantitativa continua Relación inversa	Kilómetros	Entrevista a informantes clave: 2 de CAPA y 1 Conagua.
Programa de Desarrollo Urbano existente y actualizado (Giordano, 2012; CAF, 2014).	Instrumento que establece un modelo de ordenación territorial, que posibilita la interrelación equilibrada entre los centros de población; sus actividades y la distribución de servicios y equipamiento, valorizando las características específicas de Chetumal como centro estatal de servicios y su localización geopolítica. La existencia y actualización son fundamentales para un crecimiento ordenado, dado las dinámicas de crecimiento urbano y demográfico de las ciudades.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe 1: Existe actualizado 2: Existe no actualizado	Documental: SEDETUS, 2018.
Programa de Ordenamiento Ecológico existente y actualizado (Giordano, 2012).	Instrumento que presenta el modelo de ordenamiento ecológico de las unidades de gestión ambiental (UGA) y sus respectivos lineamientos ecológicos. La existencia y actualización contribuye a la conservación y mantenimiento de ecosistemas frágiles o amenazados, mediante el manejo adecuado de las unidades de gestión ambiental, lo que permite a las ciudades conservar sus recursos ambientales y mitigar riesgos.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe 1: Existe no actualizado 2: Existe actualizado	Documental: Semarnat, 2018.
Aplicación de Programa Desarrollo Urbano (Gays, 2016).	Se refiere al apego a las especificaciones establecidas referentes a la expansión de la mancha urbana, lo que sirve para evitar la ubicación en zonas de riesgo para la sociedad y los sistemas que la conforman.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No se aplica 1: Se aplica	Entrevista a informantes clave: 2 de CAPA, 1 Conagua y 1 H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco.



Aplicación de Programas de Ordenamiento Ecológico (Gays, 2016).	Se refiera al apego a las especificaciones establecidas sobre las políticas y estrategias de las unidades de gestión ambiental. La implementación del programa permite la coordinación con otras instancias para una planificación adecuada de las ciudades.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No se aplica 1: Se aplica	Documental: SEDETUS, 2018; Semarnat, 2018. Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua; 2 de CAPA y 2 de Protección Civil Municipal.
Normativas y códigos de construcción a nivel local para zonas costeras existentes y actualizados (leyes, reglamentos y manuales) (PRODUS-UCR, 2014; Cutter <i>et al.</i> 2015; Gays, 2016).	Instrumentos jurídicos que tienen por objeto regular la aplicación del artículo 134 de la Constitución Política en materia de contrataciones de obras públicas y servicios relacionados con las mismas. Asimismo, son una referencia sobre criterios, procedimientos, normas, índices y parámetros para la construcción de obras. La existencia y actualización contribuye a la implementación de los más recientes avances tecnológicos con el fin de desarrollar infraestructura más eficiente, segura y sustentable, así como formar recursos humanos más capacitados y preparados.	Cualitativa nominal Relación: directa	0: No existe 1: Sí existe	Documental: Conagua, 2018 Entrevista informantes clave: 1 de Conagua; 4 de CAPA y 2 de Protección Civil Municipal.
Aplicación de normativas y códigos de construcción a nivel local para zonas costeras (leyes, reglamentos y manuales) (CAF, 2014; Gays, 2016).	La aplicación de normativas y códigos de construcción consiste en apearse a las especificaciones de estos, así como al diseño y construcción de los sistemas de infraestructura (drenaje pluvial).	Cualitativa nominal Relación: directa	0: No se aplica 1: Se aplica	Entrevista informantes clave: 1 de Conagua y 4 de CAPA.

Fuente: elaborado por autores.



Tabla 2. Indicadores de redundancia del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicador y autores que lo han empleado	Definición y justificación del indicador	Tipo de variable y relación con la resiliencia	Categoría/ Unidad	Fuente de información
Plan de mantenimiento de infraestructura (federal, estatal, municipal) (Giordano, 2012; Gays, 2016).	La finalidad es proporcionar atención a los componentes que conforman el sistema, con el objetivo mantenerlos en condiciones físicas y funcionales óptimas, en caso de un evento perturbador.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe, 1: Federal 2: Estatal, 3: Municipal 4: Federal-estatal 5: Estatal-Municipal 6: Federal-Municipal 7: Federal-Estatal-municipal	Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua y 3 de CAPA
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel federal (acciones proactivas, reactivas y post desastre) (CAF, 2014; Castillo <i>et al.</i> 2016).	Acciones federales integradas en tres etapas: proactivas, reactivas y post-desastre ante la posible afectación de un fenómeno perturbador (huracán). La existencia de dichos planes sirve para prevenir y atender de manera eficiente, ordenada y responsable a la población y áreas productivas, lo que contribuye a minimizar los riesgos y daños, así como una recuperación más efectiva ante la afectación de un huracán.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe, 1: Proactivo 2: Reactivo, 3: Post desastre 4: Proactivo-reactivo 5: Reactivo-post desastre 6: Proactivo- post desastre 7: Proactivo-reactivo-post desastre	Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua.



Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel estatal (proactivo, reactivo, post desastre) (CAPA, 2016).	Acciones estatales integradas en tres etapas: proactivas, reactivas y post desastre ante la posible afectación de un fenómeno perturbador (huracán). La existencia de dichos planes sirve para prevenir y atender de manera eficiente, ordenada y responsable a la población y áreas productivas, lo que contribuye a minimizar los riesgos y daños, así como una recuperación más efectiva ante la afectación de un huracán.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe 1: Proactivo-Reactivo-Post desastre 2: Reactivo 3: Post desastre 4: Proactivo-reactivo 5: Reactivo-post desastre 6: Proactivo- post desastre 7: Proactivo-reactivo-post desastre	Entrevista a informantes clave: 3 de CAPA.
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel estatal (proactivo, reactivo, post desastre) (CAPA, 2016).	Acciones municipales integradas en tres etapas: proactivas, reactivas y post desastre ante la posible afectación de un fenómeno perturbador (huracán). La existencia de dichos planes sirve para prevenir y atender de manera eficiente, ordenada y responsable a la población y áreas productivas, lo que contribuye a minimizar los riesgos y daños, así como una recuperación más efectiva ante la afectación de un huracán.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe 1: Proactivo 2: Reactivo 3: Post desastre 4: Proactivo-reactivo 5: Reactivo-post desastre 6: Proactivo- post desastre 7: Proactivo-reactivo-post desastre	Entrevista a informantes clave: 2 de Protección Civil Municipal.
Mapa de zonas inundables existente y actualizado (CAPA, 2016).	Representación espacial de las zonas inundables. La existencia y actualización del mismo de acuerdo con las dinámicas de crecimiento de la ciudad, permite dar atención de manera oportuna en caso de presentarse una inundación asociada a huracanes y esto, a su vez, minimiza los posibles daños tanto a la infraestructura del sistema de drenaje pluvial como a los habitantes.	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe 1: Existe no actualizado 2: Existe y actualizado	Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua y 3 de CAPA.



Atlas de riesgo existente y actualizado (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, 2018).	Instrumento conformado por un conjunto de mapas de peligros naturales para una zona urbana determinada, donde se representa la magnitud del peligro o del riesgo para un sistema afectable, así como la ubicación y dimensión física del peligro y del riesgo. Los atlas de riesgos permiten conocer las posibles situaciones a las que la población y los sistemas de las ciudades están expuestos para poder prevenir, mitigar y dar respuesta ante los posibles riesgos que se presenten y con ello minimizar los posibles daños y	Cualitativa nominal Relación directa	0: No existe 1: Existe no actualizado 2: Existe y actualizado	Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua y 3 de CAPA y 2 de Protección Civil Municipal.
Número de obras construidas para disminuir el riesgo ante huracanes	Obras construidas posteriormente al impacto de un fenómeno perturbador (huracán Dean).	Cuantitativa discreta Relación directa	Obra	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 2 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.

Fuente: elaborado por autores.

Tabla 3. Indicadores de recursos del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicador y autores que lo han empleado	Definición justificación del indicador	Tipo de variable y relación con la resiliencia	Categoría/Unidad	Fuente de información
Número de fondos destinados a programas de prevención (federal, estatal y municipal) (Balica <i>et al.</i> , 2012; Giordano, 2012).	Cantidad de fondos destinados a la realización de acciones y mecanismos tendientes a reducir riesgos, así como evitar o disminuir los efectos del impacto destructivo de los fenómenos naturales sobre la vida y bienes de la población, los servicios públicos y el medio ambiente.	Cuantitativa discreta Relación directa	Fondos	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 1 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.



Número de fondos destinados para la atención a emergencias (federal, estatal y municipal) (O'Rourke, 2007; Balica <i>et al.</i> , 2012; Giordano, 2012).	Cantidad de fondos destinados al auxilio y asistencia ante situaciones de emergencia y desastre, a fin de responder de manera inmediata y oportuna a las necesidades urgentes para la protección de la vida y la salud de la población, generadas ante la alta probabilidad u ocurrencia de un fenómeno natural perturbador.	Cuantitativa discreta Relación directa	Fondos	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 1 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.
--	--	---	--------	--

Fuente: elaborado por autores.

Tabla 4. Indicadores de rapidez del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicador y autores que lo han empleado	Definición y justificación del indicador	Tipo de variable, unidad y relación con la resiliencia	Categoría / Unidad	Fuente de información
Tiempo promedio en días de reactivación del servicio de drenaje pluvial (O'Rourke, 2007; Gays, 2016).	Tiempo en que el sistema de drenaje pluvial tarda en recuperar su funcionamiento posterior a inundaciones asociadas a huracanes.	Cuantitativa discreta Relación Inversa	Días	Entrevista a informantes clave: 2 de Conagua y 2 de CAPA. Encuesta: N= 292
Número de servidores públicos de Conagua, CAPA y Protección Civil Municipal capacitados para actuar antes, durante y después de inundaciones asociadas a huracanes (O'Rourke, 2007).	Se refiere al personal que ha recibido capacitación para el desarrollo de conocimientos, habilidades y actitudes para actuar antes, durante y después del impacto de inundaciones asociadas a huracanes.	Cuantitativa discreta Relación: directa	Servidores públicos	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 1 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.

Fuente: elaborado por autores.



Tabla 5. Indicadores de capacidad adaptativa del sistema de drenaje pluvial de la localidad urbana de Chetumal, Quintana Roo, México.

Indicadores y autores que lo han empleado	Definición y justificación del indicador	Tipo de variable, unidad y relación con la resiliencia	Categoría/Unidades	Fuente de información
Población con experiencia ante inundaciones (Cutter, 2014; Frausto <i>et al.</i> , 2016).	Habitantes que han vivido la experiencia de una inundación.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que participaría en caso de afectación por inundación (Cutter <i>at al.</i> , 2014).	Habitantes con el compromiso para participar en caso necesario ante la afectación de inundación.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población con conocimiento de los programas implementados por el gobierno (Balica <i>et al.</i> , 2012).	Habitantes que conocen los programas de apoyo por parte del gobierno en caso de inundaciones.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que ha recibido capacitación sobre las acciones que deben llevar a cabo en caso de afectaciones por inundaciones asociadas a huracanes (Cutter <i>et al.</i> , 2015).	Habitantes con conocimiento para actuar de manera adecuada y oportuna en caso de inundación.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que implementan estrategias para disminuir el impacto de inundaciones (Frausto <i>et al.</i> , 2016).	Habitantes que realizan estrategias en sus viviendas o en su colonia para mitigar el impacto de inundaciones.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que ha vivido la experiencia de un huracán (Cutter, 2014; Frausto <i>et al.</i> , 2016).	Habitantes con conocimiento de la historia sobre eventos de huracanes.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292
Población que conoce el término resiliencia en infraestructura.	Habitantes con conocimiento sobre la definición de resiliencia en infraestructura.	Cuantitativa continua Relación directa	Porcentaje	Encuesta: N=292



Número de organizaciones gubernamentales que apoyan en caso de inundaciones asociada a huracanes (Balicaet <i>et al.</i> , 2012; Cutter <i>et al.</i> , 2014).	Instituciones administradas ya sea por el gobierno federal, estatal o municipal, encargadas de entregar con la cantidad y calidad adecuada el servicio de drenaje pluvial; con la finalidad de prevenir riesgos por fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos (inundaciones), atender sus efectos y evaluarlos.	Cuantitativa directa Relación directa	Organizaciones	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 2 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal. Encuesta: N=292
Zonas sin drenaje pluvial (Balica <i>et al.</i> , 2012).	Áreas que carecen de infraestructura de drenaje pluvial.	Cuantitativa continua Relación inversa	Porcentaje	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua, 2 de CAPA y 1 de Protección Civil Municipal.
Longitud de colectores de drenaje a cielo abierto (Balica <i>et al.</i> , 2012; USAID, 2013).	Son conductos sin recubrimiento superior para el desalojo de aguas pluviales. Los cuales son más propensos a obstruirse por la maleza (vegetación) y desechos sólidos, contribuyendo con ello a fallas en el sistema de drenaje pluvial.	Cuantitativa continua Relación inversa	Kilómetros	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua y 2 de CAPA.
Longitud de colectores de drenaje pluvial (Balica <i>et al.</i> , 2012; USAID, 2013).	Son conductos cubiertos que funcionan para el desalojo de aguas pluviales.	Cuantitativa Continua Relación directa	Kilómetros	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua y 2 de CAPA.
Longitud de línea costera (Balica <i>et al.</i> , 2012)	La longitud de la línea costera que define el límite entre mar y la tierra, la cual permite tener conocimiento de la posible incidencia de la marea de tormenta.	Cuantitativa continua Relación: inversa	Kilómetros	Documental: INEGI, 2015.
Número de pozos	Pozos profundos de filtración de agua pluvial, que complementa al sistema de drenaje pluvial.	Cuantitativa directa Relación directa	Pozos	Entrevista a informantes clave: 1 de Conagua y 2 de Protección Civil Municipal.

Fuente: elaborado por autores.



En la tercera fase se realizó la normalización de datos con la finalidad de que estos sean comparables mediante el método estadístico min-max (Castillo, 2009; Castillo *et al.*, 2014; Cutter *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2014) con las siguientes fórmulas:

$$\text{Indicador positivo} = \frac{\text{Indicador simple} - \text{Mínimo}}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}}$$

$$\text{Indicador negativo} = \frac{\text{Máximo} - \text{Indicador simple}}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}}$$

En la cuarta fase se efectuó la ponderación de componentes e indicadores. Para ello, se seleccionó 16 expertos (cuatro de Conagua, siete de CAPA y cinco de Protección Civil Municipal) de acuerdo con la injerencia y relevancia en la protección y atención del sistema de drenaje pluvial ante desastres, quienes ponderaron primero los componentes y luego los indicadores, con base en la técnica normativa de asignación presupuestaria (Sánchez, 2009; Thiel, 2013; Morantes, 2014; Hernández *et al.*, 2018); la cual consistió en asignar un valor a cada componente entre 0 y 100, de tal manera que, la sumatoria por componente fuera igual al valor máximo (100); el mismo procedimiento se realizó a nivel indicador. Posteriormente, se obtuvo el promedio de los 16 valores a nivel componente e indicador y el error estándar.

En la quinta fase se implementó la técnica de agregación multiplicativa (Boulanger, 2008) a nivel de indicador y componente, de lo que se obtuvo un índice por componente, así como un índice integrado de resiliencia del sistema de drenaje pluvial.

Agregación a nivel indicador:

$$Ii = Xn * Xpi$$

Donde:

$$\begin{aligned} Ii &= \text{valor del indicador} \\ Xn &= \text{valor del indicador normalizado} \\ Xpi &= \text{valor ponderado del indicador} \end{aligned}$$

Factor por componente:

$$Fc = \sum Ii$$

Donde:

F_c = factor por componente

$\sum Ii$ = sumatoria de indicadores simples por cada componente

Agregación a nivel componente:

$$Icn = Fc * Xpc$$



Donde:

I_{cn} =indicador por componente
 F_c =factor por componente
 X_{pc} =valor ponderado por componente

Índice:

$$IRSDP = IC1 + IC2 + IC3 + IC4 + IC5$$

Donde:

IRSDP=índice de resiliencia del sistema de drenaje pluvial
IC1=índice de resiliencia del componente robustez
IC2=índice de resiliencia del componente redundancia
IC3=índice de resiliencia del componente recursos
IC4=índice de resiliencia del componente rapidez
IC5=índice de resiliencia del componente capacidad adaptativa

Para interpretar los resultados del índice, se realizó la adaptación de los niveles de resiliencia propuestos por GOAL (2005):²

Tabla 6. Descripción de las categorías de resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones

Índice	Categoría	Descripción
0 - 0.20	Mínima resiliencia	Existe poca conciencia y motivación por parte de los gobiernos y la sociedad sobre la problemática de inundaciones y la necesidad de fortalecer la resiliencia del sistema de drenaje pluvial y las acciones de respuesta ante las crisis son limitadas.
0.21 - 0.40	Baja resiliencia	Existe conocimiento limitado por parte de las instituciones gubernamentales con injerencia en el sistema de drenaje pluvial y de la sociedad sobre la necesidad de fortalecer de manera continua las capacidades de resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones.
0.41 - 0.60	Media resiliencia	Existen propuestas de solución y atención de manera continua por parte de las instituciones gubernamentales y de la sociedad para fortalecer las capacidades de resiliencia ante inundaciones del sistema de drenaje pluvial.

² Es una organización humanitaria internacional fundada en Irlanda en 1977 dedicada a aliviar el sufrimiento de las comunidades más pobres y vulnerables del mundo en vías de desarrollo (GOAL, 2015).



0.61 – 0.80	Alta resiliencia	Existe coherencia e integración de acciones a largo plazo por parte de las instituciones gubernamentales y de la sociedad para fortalecer las capacidades de resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones.
0.81 – 1.00	Muy alta resiliencia	Existe alta asociación en las acciones por parte de las instituciones gubernamentales y de la sociedad para fortalecer las capacidades de resiliencia ante inundaciones en las etapas de planeación, construcción, desarrollo y mantenimiento del sistema de drenaje pluvial.

Fuente: elaborado por autores con base en GOAL (2015).

Resultados

El sistema de infraestructura de drenaje pluvial de la ciudad de Chetumal (Figura 2) se conforma por 43 911.99 kilómetros de colectores que están distribuidos de la siguiente manera: 33 583.39 km tienen forma circular, ubicados geográficamente en la zona costera, centro y oeste; 7 869.40 km son rectangulares cerrados, ubicados al noreste; mientras que 2 206.3 km son rectangular abierto, localizado en el área costera y norte de la ciudad, y por último, 252.82 km de colectores en forma trapezoidal (IMTA-CAPA, 2016: 33).

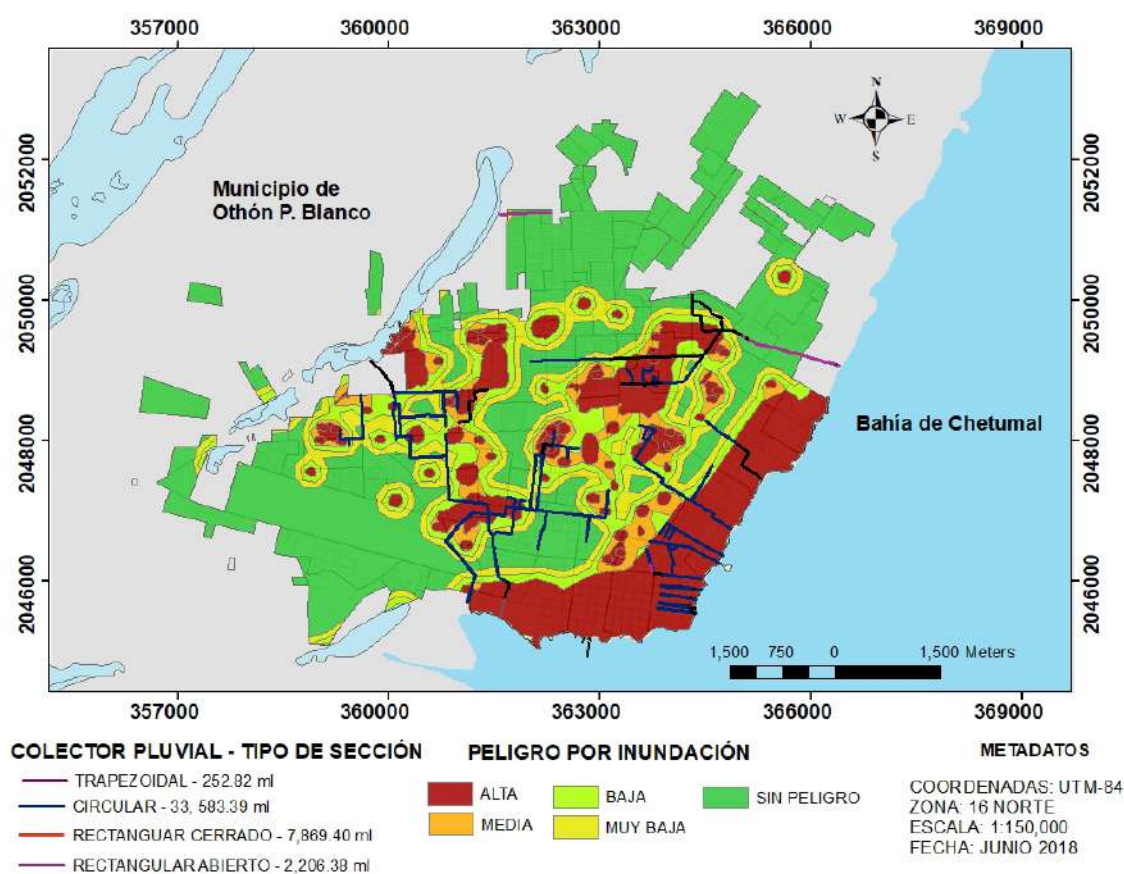


Figura 2. Sistema de drenaje pluvial de Chetumal, municipio Othón. P. Blanco, Quintana Roo. Fuente: Elaborado con base en UQROO (2011); IMTA(2013;2016); INEGI(2016).



Este sistema de colectores representa 35% en infraestructura pluvial (IMTA, 2013), por lo que se han tomado medidas para complementarlo, como la construcción de pozos de absorción para el desazolve de agua pluvial, logrando con ello subsanar un 40% del 65% faltante (IMTA, 2016). Sin embargo, se han identificado inconvenientes en el funcionamiento de dichos pozos como el reboseamiento de estos, principalmente por su ubicación en áreas donde el suelo presenta un drenaje deficiente (J. Russel, comunicación personal, 6 de marzo, 2018).

Índice de Resiliencia del Sistema de Drenaje Pluvial

Se utilizó un total de 31 indicadores de resiliencia para el cálculo del índice. El componente robustez se conformó por ocho, de los cuales en los que mayor peso se presentó fue en la aplicación de normativas y códigos de construcción, zonas con nivel alto ante inundaciones y la aplicación del programa de ordenamiento ecológico y la aplicación del programa de desarrollo urbano. Los resultados muestran que, si bien, la existencia y actualización de normativas, códigos y programas son fundamentales, la aplicación de los mismos resultó más relevante. Con lo que se puede inferir que, para fortalecer la resiliencia en el componente de robustez, se deben tener en alta consideración los instrumentos que guían la construcción de los sistemas de drenaje pluvial (Tabla 7).

Tabla 7. Indicadores del componente robustez del sistema de infraestructura de drenaje pluvial de Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

Indicadores de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Zonas con nivel de afectación alto ante inundaciones (%)	35	0.1625	0.0136
Longitud de colectores con más de 30 años de antigüedad (km)	5	0.1313	0.0163
Programa de Desarrollo Urbano existente y actualizado	2	0.1256	0.0125
Programa de Ordenamiento Ecológico existente y actualizado	2	0.1175	0.0117
Aplicación de Programa de Desarrollo Urbano	1	0.1202	0.0071
Aplicación de Programas de Ordenamiento Ecológico	1	0.1425	0.0092
Normativas y códigos de construcción a nivel local para zonas costeras existentes y actualizados (leyes, reglamentos y manuales)	3	0.1231	0.0083
Aplicación de normativas y códigos de construcción a nivel local para zonas costeras (leyes, reglamentos y manuales)	3	0.1975	0.0105

Fuente: Elaborado por autores.



El componente de redundancia se integró por siete indicadores. El valor más alto se presentó en el plan de mantenimiento y el menor en el atlas de riesgo; esto muestra la importancia de la existencia e implementación de programas de mantenimiento para el sistema de drenaje pluvial. Sin embargo, también se hace evidente que no se considera lo especificado en el atlas de riesgo, el cual es un instrumento que plantea elementos que contribuyen a la prevención y mitigación de los riesgos a los cuales está expuesta el área de estudio (tabla 8).

Tabla 8. Indicadores del componente redundancia del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

Indicadores de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Plan de mantenimiento de infraestructura (federal, estatal, municipal).	7	0.2813	0.0326
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel federal (proactivo, reactivo, post desastre).	7	0.1213	0.0075
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel estatal (proactivo, reactivo, post desastre).	7	0.1344	0.0169
Tipo de plan de emergencias en caso de huracán a nivel municipal (proactivo, reactivo, post desastre).	7	0.1019	0.0129
Mapa de zonas inundables existente y actualizado.	2	0.1269	0.0170
Atlas de riesgo existente y actualizado	1	0.0969	0.0107
Número de obras construidas para disminuir el riesgo de inundaciones asociadas a huracanes.	3	0.1375	0.0153

Fuente: Elaborado por autores.

En la tabla 9 se muestra indicadores relacionados con el componente recurso. Los cuales revelaron que la existencia de fondos para la atención de emergencia es mayor, lo que externa que existen más recursos para acciones reactivas que preventivas.

Tabla 9. Indicadores del componente recursos del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

Indicadores de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Número de fondos destinados a programas de prevención (federal, estatal y municipal)	3	0.4656	0.0291
Número de fondos destinados para la atención a emergencias (federal, estatal y municipal)	5	0.5344	0.0258

Fuente: Elaborado por autores.



El componente rapidez se integró por dos indicadores; el mayor peso se presentó en el indicador correspondiente al personal capacitado de las dependencias gubernamentales que intervienen en caso de inundación. De lo que puede expresarse que uno de los factores que mayor incide en el tiempo en que el sistema se recupera, es la capacidad que el personal tenga para actuar antes, durante y después de la emergencia (Tabla 10).

Tabla 10. Indicadores del componente rapidez del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo.

Indicadores de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Tiempo promedio en días de reactivación del servicio de drenaje pluvial	1	0.3219	0.0447
Número de servidores públicos de Conagua, CAPA y Protección Civil Municipal capacitados para actuar antes, durante y después de inundaciones asociadas a huracanes	65	0.6781	0.0447

Fuente: elaborado por autores.

El componente capacidad adaptativa se integró por 14 indicadores correspondientes a la infraestructura física existente y a la población con capacidades para contribuir al fortalecimiento de la resiliencia del sistema de drenaje pluvial. Los valores mayores se observaron en la “cantidad de pozos y kilómetros de tubería de drenaje pluvial”, lo cual muestra que el factor físico del sistema tiene una alta repercusión en la resiliencia del sistema de drenaje pluvial (Tabla 11).

Tabla 11. Indicadores del componente capacidad adaptativa del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo

Indicadores propuestos de resiliencia	Valor actual	Media	Error estándar
Población con experiencia ante inundación (%).	36	0.0663	0.0096
Población que participaría en caso de afectación por inundación (%).	87	0.0494	0.0062
Población con conocimiento de los programas implementados por el gobierno (%).	12	0.0319	0.0044
Población que ha recibido capacitación sobre las acciones que deben llevar a cabo en caso de afectaciones por inundaciones asociadas a huracanes (%)	27	0.0725	0.0123
Población que implementa estrategias para disminuir el impacto de inundaciones (%).	32	0.0388	0.0040
Población que ha vivido la experiencia de un huracán (%).	62	0.1106	0.0104
Población que conoce el término resiliencia en infraestructura (%)	7	0.0344	0.0047



Número de organizaciones gubernamentales que apoyan en caso de inundación asociadas a huracanes.	4	0.1275	0.0228
Zonas sin drenaje pluvial (%).	65	0.0600	0.0079
Longitud de colectores de drenaje a cielo abierto (km).	9	0.0644	0.0069
Longitud de colectores de drenaje pluvial (km).	43902	0.1044	0.0088
Longitud de línea costera (km).	11	0.0794	0.0091
Número de pozos.	2000	0.0925	0.0043

Fuente: elaborado por autores.

Indicadores por componente e índice de resiliencia

El valor más alto a nivel componente se mostró en la rapidez y capacidad adaptativa, con lo cual se puede inferir que probablemente son los que más peso tienen en la resiliencia del sistema de drenaje pluvial. A escala urbana, el índice que se obtuvo indicó baja resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones.

Tabla 12. Indicadores integrados por componente del sistema de infraestructura de drenaje pluvial para Chetumal, Othón P. Blanco, Quintana Roo

Componentes	Media	Error estándar	Índice general
Robustez	0.1781	0.0171	0.0396
Redundancia	0.1906	0.0166	0.0043
Recursos	0.3031	0.0148	0.0148
Rapidez	0.1063	0.0077	0.0475
Capacidad adaptativa	0.2219	0.0241	0.1921
Índice de resiliencia del sistema de infraestructura urbano pluvial			0.2982

Fuente: elaborado por autores.

Discusión

Los diferentes tipos de colectores que conforman el sistema de drenaje pluvial, si bien, varían en sus formas, su función es el desalojo de aguas pluviales; al respecto Pizarro *et al.* (2014) señalan que los de forma trapezoidal son más recomendables para zonas con suelos poco permeables y donde se presentan lluvias frecuentes durante el año. Dichas características son similares a la zona de estudio, pero en ella predominan los colectores de forma circular; sin embargo, para Ripollés y Gómez (1994) la rapidez de desagüe de los colectores pluviales está asociada directamente con la topografía de las áreas urbanas, y señalan que la ausencia de desniveles topográficos es un factor determinante en el diseño, es decir, la topografía es uno de los factores de los cuales dependerá las características particulares de los colectores (forma, capacidad, velocidad de flujo).



Por otra parte, Perales y Doménech (2008) manifiestan que uno de los problemas que presentan este tipo de sistema de drenaje pluvial es que quedan infradimensionados porque ya no logran desaguar el agua pluvial en la misma cantidad ni en el tiempo que lo hacían cuando iniciaron su funcionamiento, lo cual se relaciona con la modificación del comportamiento hidráulico de la red, dando lugar a inundaciones. Dentro de uno de los factores que causa el infradimensionamiento de los sistemas de drenaje pluvial, se encuentra que el crecimiento urbano no va a la par de la dotación de servicios; situación que se está dando en el área de estudio, en la cual un 25% carece de drenaje pluvial. Lo cual coincide con lo planteado por Diez *et al.* (2011) quienes señalan que las ciudades no han limitado su crecimiento y los sistemas de protección contra inundaciones no se han mantenido al mismo ritmo de desarrollo. Asimismo, dicha situación puede deberse a factores como: la falta de recursos, la capacidad baja de los gobiernos locales, la urbanización bajo escalas informales, la escasa planeación, la baja confiabilidad de gobiernos, organizaciones no gubernamentales y el sector privado para invertir en zonas de escasos recursos y donde se carece de una tenencia segura, percibiendo sus inversiones como riesgosas (Baker, 2012; Aragón, 2014; Jarrod *et al.*, 2014).

Otro de los factores que está contribuyendo a las inundaciones en el área de estudio es la problemática que se ha presentado en los pozos de absorción, lo cual se asocia a la baja permeabilidad del suelo que predomina en la zona. Fragoso y Pereira (2018) externan al respecto, que la traza urbana se ha extendido hacia el oeste durante el período 1980-2000, donde prevalece los suelos gleysoles, es decir, se ha extendido hacia áreas impermeables; en ese sentido Perales y Doménech (2008) señalan que la baja permeabilidad reduce la infiltración y como consecuencia genera volúmenes mayores de escorrentía aumentando el riesgo de inundaciones. Por otra parte, dicha problemática puede estar asociada a la falta de un análisis de riesgo de las infraestructuras, como se señala en el Plan Sectorial de Gobernación 2013-2018o a la falta de estudios previos (diagnóstico de zonas aptas, pruebas hidráulicas) que garanticen su adecuado funcionamiento (CONAGUA, 2015).

Con relación a los 31 indicadores por componente (robustez, redundancia, recursos, rapidez y capacidad adaptativa) los valores más altos se obtuvieron en “km de colectores de drenaje pluvial” y “cantidad de pozos” correspondientes al componente de capacidad adaptativa, lo que muestra que la parte física del sistema de drenaje pluvial es un factor determinante en la resiliencia del sistema de drenaje pluvial. Al respecto Lavell (1996) y Herzer y Guverich (1996) mencionan que la insuficiencia de los sistemas de drenaje pluvial es uno de los factores que más propician las inundaciones. Diez *et al.*, (2011) asocian las inundaciones a una inadecuada planeación; externan que no se considera en la misma los factores como: la variabilidad del nivel del mar y el conocimiento de los territorios; añaden que la consideración de dichos factores puede contribuir al diseño de sistemas de drenaje más holísticos de mitigación de inundaciones. Ante lo expuesto, Zevallos (1996) considera que es necesario el mejoramiento de dichos sistemas, lo que ayudaría a fortalecer sus capacidades de respuesta ante inundaciones.



En el componente de robustez se detectó que uno de los indicadores más relevantes fue la vida útil de los colectores de drenaje pluvial. Al respecto Giordano (2012) indica que la infraestructura de protección contra inundaciones tiene una vida útil mayor a 50 años; cabe señalar que los años de uso del sistema de infraestructura del área de estudio, son menores al mencionado, por tanto, puede considerarse un indicador positivo para la resiliencia.

La redundancia estuvo asociada en mayor parte a los planes de mantenimiento del sistema de drenaje pluvial de los tres niveles de gobierno (federal, estatal, municipal), la existencia de estos contribuye a mantener en óptimas condiciones dicho sistema. En este sentido, Gallego y Essex (2016) opinan que el mantenimiento periódico y de rutina son un factor determinante en la vida útil de los sistemas de infraestructura, además de que contribuyen a garantizar que la resiliencia se mantenga a través de los desastres y durante su vida de diseño. Asimismo, señalan que el componente recursos debe ser considerado necesario en la planeación de infraestructura, toda vez que es necesario reconocer que la inversión en la misma no solo tendrá que responder a los impactos climáticos futuros en sí, sino que determinará cómo viven los futuros usuarios. Por tanto, es preciso considerar recursos tanto para acciones preventivas como reactivas.

En el componente de rapidez se observó que el indicador referente al personal capacitado desarrolla un rol importante en la resiliencia del sistema. Toda vez que las acciones que estos lleven a cabo en caso de emergencia y desastre dependerán del nivel de conocimiento con el que cuenten para actuar antes, durante y después del impacto de un fenómeno perturbador, contribuyendo a fortalecer las capacidades de resiliencia. Al respecto, O'Rourke (2007) mencionó que el nivel de conciencia y política local es un factor significativo ante la recuperación de los desastres, lo cual coincide con la importancia de contar con personal con las capacidades para actuar ante posibles afectaciones, lo que permite que estos cuenten con elementos para plantear e implementar programas que puedan prevenir y mitigar daños, así como acelerar los procesos de recuperación del sistema.

En el componente de capacidad adaptativa, la experiencia ante inundaciones asociadas a huracanes de la población y la participación de esta ante desastres son indicadores fundamentales para fortalecer la resiliencia. O'Rourke (2007) menciona que las características de la comunidad tienen un efecto significativo sobre la resiliencia, especialmente en los niveles de vulnerabilidad y preparación; sus experiencias vividas les permiten establecer escenarios, para la construcción de sistemas robustos y complementarlos con acciones que favorezcan su recuperación ante desastres y así contribuir a fortalecer los sistemas de infraestructura resilientes.

El índice general indicó baja resiliencia, lo que estuvo asociado a los años de vida del sistema de drenaje pluvial, a la existencia y aplicación de instrumentos, planes y normativas; así como al conocimiento y habilidades de la población y de los servidores públicos con injerencia en el sistema. Lo que muestra que es recomendable realizar acciones para fortalecer las capacidades físicas y sociales del sistema e integrar la participación gobierno-sociedad para que la intervención para fortalecer la resiliencia sea constante en el tiempo. En ese sentido, la ONU-Hábitat (2017) expone que la resiliencia es una construcción, toda vez que las perturbaciones que afectan a las



ciudades se manifiestan de distintas formas. Por tanto, se considera que la resiliencia es un concepto evolutivo, es decir, se requiere una construcción continua, no única ni fragmentada. En ese sentido, se hace necesario el estudio de manera continua de los factores que tienen injerencia en el sistema del drenaje pluvial con el objetivo de contar con elementos para fortalecer las capacidades de resiliencia acordes a los contextos que se vayan presentando.

Conclusiones

La resiliencia de los sistemas de drenaje pluvial es de vital importancia por ser una de las soluciones a las problemáticas de inundaciones. La creación de capacidades de resiliencia de los mismos puede contribuir a disminuir posibles desastres que afectan a los habitantes y a los sistemas de infraestructura de las áreas urbanas.

La presente investigación mostró que la resiliencia del sistema de drenaje pluvial se asocia a la parte física y social del sistema. Por lo tanto, para fortalecer la misma se debe considerar una asociación de ambas partes. La responsabilidad de resiliencia no puede recaer solo en la parte física del sistema, como tampoco en las acciones de los gobiernos y de la sociedad. El estudio permanente de los factores que repercuten en la creación de fortalezas del sistema para hacer frente a inundaciones es relevante, permitirá enfocar la construcción de la parte física del sistema según esquemas que consideren la evolución de los contextos y de los riegos; asimismo se podrá brindar elementos a las instituciones gubernamentales y a la sociedad con que puedan visualizar posibles escenarios para plantear y realizar acciones que fortalezcan la resiliencia del sistema.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca mixta otorgada a la primera autora para la realización de su estancia de investigación en la Universidad Veracruzana, becaria del posgrado en Geografía UQROO - 428866; al grupo de trabajo del proyecto No. 248375 denominado “Resiliencia en ciudades costeras del Caribe Mexicano ante desastres por huracanes: Chetumal, Tulum y Playa del Carmen” financiado por el CONACYT y a la Red de Desastres Asociados a Fenómenos hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) por sus valiosas aportaciones a este trabajo. ☸



Referencias

- ADGER, W. NEIL *et. al.* (2005). "Social-ecological resilience to coastal disasters". En: *Science*, Núm. 309.
- ARAGÓN DURAND, FERNANDO (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina*. Lima: Soluciones prácticas.
- ARNBJERG-NIELSEN *et. al.* (2013). "Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review". En: *Water Science and Technology*, Vol. 68, Núm. 1.
- BAKER, JUDY (2012). *Climate change, disaster risk, and the urban poor: cities building resilience for a changing world*. Washington, DC: World Bank.
- BOULANGER, PAUL (2008). "Sustainable development indicators: a scientific challenge, a democratic issue". En: *S.A.P.I.E.N.S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, Vol. 1, Núm 1.
- BRUNEAU, MICHEL *et. al.* (2003). "A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities". En: *Earthquakespectra*, Vol. 19, Núm. 4.
- CAPA-IMTA (2013). "Programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo." En: Víctor Javier Bourguett Ortiz (editor). *Congreso IMTA 2013*. México: CAPA-IMTA.
- CASTILLO VILLANUEVA, LOURDES (2009). *Urbanización, problemas ambientales y calidad de vida*. México: Plaza y Valdés y Universidad de Quintana Roo.
- CASTILLO VILLANUEVA, LOURDES *et. al.* (2014). "Modelo de indicadores para la evaluación y monitoreo del desarrollo sustentable en la zona costera de Mahahual, Quintana Roo, México". En: *Perspectiva Geográfica*, Vol. 19, Núm. 2, México.
- CAVAZOS PÉREZ, MARÍA TERESA (2015). *Conviviendo Con La Naturaleza*. México: INECC.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (2014). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2012*. México: SEGOB.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (2007). *Informe final huracán Dean. Chetumal*. México: CONAGUA.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (2015). *Manual de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento. México (MAPS)*. México: CONAGUA.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (2000). *La situación demográfica de México, 2000*. México: CONAPO.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (2018). *Datos de proyecciones 2010-2050*. México: CONAPO. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/proyecciones_datos



- CUTTER, SUSAN, KEVIN ASH & CHRISTOPHER EMRICH (2014). "The geographies of community disaster resilience". En: *Global environmental change*, Núm. 29.
- DEKKER, SIDNEY *et al.* (2008). *Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems*. Escandinavia: Lund University School of Aviation.
- DIEZ GONZALEZ, JOSÉ JAVIER *et al.* (2011). "Urban Coastal Flooding and Climate Change". En: *Journal of Coastal Research*.
- FRAGOSO SERVÓN, PATRICIA y ALBERTO PEREIRA CORONA (2018). "Suelos Y Karst, Origen De Inundaciones Y Hundimientos En Chetumal, Quintana Roo, México". En: *European Scientific Journal*, Núm. 14, ESJ.
- FRAUSTO MARTÍNEZ, OSCAR (2017). "Turismo oscuro: el desastre del huracán Janet de 1955 en la ciudad de Chetumal, México". En: *Teoría y Praxis*.
- FRAUSTO MARTÍNEZ, OSCAR, (2016). "Hurricane Resilience Indicators In Mexican Caribbean Coastal Cities." *International Journal of Safety and Security Engineering*, Vol. 6, Núm. 4.
- GALLEGO-LÓPEZ, C. y ESSEX, J. (2016). *(with input from DFID) Designing for infrastructure resilience*. Reino Unido: Evidence on Demand.
- GAY ALANÍS, LEÓN FRANCISCO (2016). "Infraestructura resiliente: desempeño sostenido en un mundo siempre cambiante." *Entretextos*, México: Universidad Iberoamericana León.
- GIORDANO, THIERRY (2012). "Adaptive planning for climate resilient long-lived infrastructures." *Utilities Policy*, Núm. 23.
- GOAL (2015). *Herramienta para medir la resiliencia comunitaria ante desastres*. Irlanda: GOAL.
- HERNÁNDEZ AGUILAR, MARÍA LUISA (2014). *Evaluación del riesgo y vulnerabilidad ante la amenaza de huracanes en zonas costeras del Caribe Mexicano: Chetumal y Mahahual*. Tesis doctoral. Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo, México.
- HERNÁNDEZ AGUILAR, MARÍA LUISA, CARREÑO TIBADUIZA, MARTHA LILIANA, & CASTILLO VILLANUEVA, LOURDES (2018). "Methodologies and tools of risk management: Hurricane risk index (HRI)." *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- HERZER, HILDA Y GUREVICH, RAQUEL (1996). "Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación". En: F. M. Augusta (compiladora). *Degradación y desastres: parecidos y diferentes: tres casos para pensar y algunas dudas para plantear*. Ecuador: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (2016). *Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo*. México: CAPA.



- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2010). *Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo*. México: INEGI.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo*. México: INEGI.
- JARROD, RUSSEL, OBERMAIER, MARTÍN, REBOLLEDO, ENRRIQUE, y CHARLOTTE, OLIVIA HEFFER (2014). *Adaptación y mitigación del cambio climático en zonas urbanas*. Perú: Soluciones prácticas.
- LAVELL, ALLAN (1996). “Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación”. En: F. M. Augusta (compiladora). *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina*. Ecuador: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- MORANTES GIL, MARTIÑA YANETTE (2014). *Análisis de gestión y eficiencia en los sistemas de producción con ovinos en Castilla-La Mancha, España*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. España.
- NICHOLLS, ROBERT *et al.* (2007). “Coastal systems and low-lying areas”. En: Martin Parry (editor). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS (2017). *Tendencias de la Resiliencia Urbana*. Perú: ONU-HABITAT.
- O’ROURKE, THOMAS (2007). “Critical infrastructure, interdependencies, and resilience”. *Bridge-Washington-National Academy Of Engineering*, Vol. 37, Núm. 1.
- PERALES, SARA y DOMÉNECH, IGNACIO (2008). “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”. *Revista Técnica de Medio Ambiente*. C&M Publicaciones.
- PIZARRO T. ROBERTO (2003). *Manual de Conservación de aguas y suelos*. Chile: Universidad de Talca.
- PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE-UNIVERSIDAD DE COSTA RICA (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de infraestructura ante el cambio climático*. Costa Rica: PRODUS – UCR.
- REFOCUS, PARTNERS (2015) “Reinvest: A Roadmap For Resilience - Investing In Resilience Reinvesting In Communities. Supported by Rockefeller Foundation.” Recuperado de http://www.reinvestinitiative.org/reports/RE.invest_Roadmap-For-Resilience.pdf
- RIPOLLÈS DOLZ, JOSEP, y GÓMEZ, MANUEL (1994). “Problemática del drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas y del estudio hidráulico de las redes de colectores”. *Ingeniería del agua*, Vol. 1, Núm. 1.



- RODRÍGUEZ ALARCÓN, MARÍA N. (2017). *Convivir con la amenaza vulnerabilidad y riesgo frente a los huracanes en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo*. Tesis doctoral. Centro de Investigación y Estudios Superiores de Antropología Social, México.
- SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, GABRIELA. (2009). *Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos: aplicación empírica para sistemas agrarios de Castilla y León*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- SCHJETNAN MARIO, CALVILLO JORGE, & PENICHE, MANUEL (1997). *Principios de diseño urbano/ambiental*. México: Árbol.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO TERRITORIAL URBANO SUSTENTABLE (2018). *Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal-Calderitas-Subteniente López- Huay-Pix y Xul-Há. Municipio de Othón P. Blanco, Estado de Quintana Roo. Chetumal*. México: SEDETUS.
- SEMARNAT. (2015). Programa de Ordenamiento Ecológico. Chetumal. SEMARNAT.
- TAMVAKIS, PAVLOS., & XENIDIS, YIANNIS. (2013). Comparative evaluation of resilience quantification methods for infrastructure systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 74, 339-348.
- THIEL ELLUL, DANIELA., & NAVARRO JURADO, ENRIQUE. Metodologías para la construcción de indicadores sintéticos de sostenibilidad aplicados al turismo: Revisión de estudios y nuevas propuestas.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2009). *Disaster Risk Reduction*, Suiza: UNISDR.
- UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO (2011). *Atlas de riesgo de ciudad de Chetumal, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo. Chetumal*. México: UQROO.
- AGENCIA DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL (2013). *Medidas para abordar el impacto del cambio climático en la infraestructura preparándose para el cambio*. Estados Unidos: USAID.
- YUSTA, JOSÉ, CORREA, GABRIEL, y ARANTEGUI, ROBERTO (2011). "Methodologies and applications for critical infrastructure protection: State-of-the-art". *Energy Policy*, Vol. 39, Núm. 10.
- ZEVALLOS MORENO, OTHÓN (1996). "Ocupación de Laderas: incremento del riesgo por degradación ambiental urbana en Quito, Ecuador". En: M. A. Fernández (compiladora). *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina*. Quito, Ecuador: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Contacto:

<amm100983@gmail.com>



Antrópica

Revista de Ciencias Sociales y Humanidades



Dossier 1

Gestión de información sobre riesgo ante desastres
hidrometeorológicos en México

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Christian Domínguez Sarmiento, Palmira Cuéllar Ramírez, Carlos Welsh Rodríguez y Carolina Ochoa Martínez

Percepción de riegos hidrometeorológicos en personas interesadas en los objetivos de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible

Oscar Frausto Martínez, Javier Tun Chim, Orlando Colín Olivares, Aidé Vázquez Sosa, Rosa Dzul Pech, Rosalinda Isla García, María Luisa Hernández Aguilar, Milagros Campos Vargas, Lucinda Arroyo Arcos y Gerardo Palacio Aponte

Perfil de resiliencia urbana de la isla de Cozumel, México

Sayli Sagrario Ybañez Hernández, Jorge Luis Vázquez Aguirre y Oscar Sánchez Martínez
Investigación de las relaciones entre variabilidad climática y enfermedades transmitidas por vector en el Estado de Veracruz

María Milagros Campos Vargas, Luis Quintana Romero, José Francisco Monroy Gaytán y Oscar Frausto Martínez

Análisis exploratorio espacial del índice de vulnerabilidad socioeconómica en el municipio de Naucalpan Estado de México

Anita Martínez Méndez, Ana Cecilia Travieso Bello y Oscar Frausto Martínez

Resiliencia del sistema de drenaje pluvial ante inundaciones: caso de estudio Chetumal, Quintana Roo, México

Contacto: revista.antropica@gmail.com

Disponible en:
<http://www.antropica.com.mx>

